

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**RECUPERAÇÃO DA PAISAGEM PRIMITIVA DA BARRAGEM DO ALTO  
RABAGÃO ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS HISTÓRICAS**

**Leonor Andrade Vila Lobos**

Dissertação

MESTRADO EM ENGENHARIA GEOGRÁFICA

2012

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**RECUPERAÇÃO DA PAISAGEM PRIMITIVA DA BARRAGEM DO ALTO  
RABAGÃO ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS HISTÓRICAS**

**Leonor Andrade Vila Lobos**

Dissertação orientada pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Paula Redweik

MESTRADO EM ENGENHARIA GEOGRÁFICA

2012

## Resumo

A barragem do Alto Rabagão, concluída em 1964, deixou total ou parcialmente submersas várias aldeias e elementos arqueológicos de grande valor histórico. Com o auxílio de fotografias aéreas históricas de um voo realizado em 1949 pelo SCE, pretende-se recuperar a paisagem primitiva correspondente à área inundada, com o intuito de identificar tais elementos.

A fase inicial consistiu na seleção e digitalização das fotografias que cobrissem a zona de estudo. No ArcMap foi feito o enquadramento dessas fotografias sobre as respetivas folhas em formato digital. Com base neste enquadramento e com auxílio de um mapa base, seguiu-se a escolha dos PFs, cumprindo diversos requisitos. Os pontos foram coordenados em ETRS89, nos modos RTK ou rápido-estático e utilizando a rede SERVIR (IGeoE). Dois PFs não foram coordenados devido a restrições de acesso no terreno. Após o ajustamento das coordenadas obtidas pelo método rápido-estático, as coordenadas finais permitiram então elaborar as fichas definitivas de todos os PFs.

A orientação espacial do bloco da cobertura fotográfica foi determinada no ISAT através de uma triangulação aérea automática, com um sigma (desvio padrão) final de 4.8  $\mu$ m (abaixo da tolerância definida de 20  $\mu$ m). No ISAE foi extraída automaticamente uma malha de pontos, base para o MDS. Para evitar a possível existência de vários valores de cota para os mesmos pontos, as zonas de sobreposição entre modelos sucessivos de cada fiada foram eliminadas no MicroStation. No ArcMap, a nova amostra de pontos foi convertida numa TIN, gerando o MDS. No ArcScene, um *raster*, gerado a partir da TIN, foi adicionado como superfície base para definição da altitude ao mosaico das ortofotos da zona de estudo, criado previamente no ISOP.

O produto final foi um modelo tridimensional com a textura real do terreno, que está atualmente a ser estudado e analisado por arqueólogos.

**Palavras-chave:** fotogrametria, fotografias aéreas antigas, orientações, triangulação por feixes perspetivos, ortofotos, modelo digital de elevação

## Abstract

The Alto Rabagão dam, completed in 1964, left wholly or partially submerged several villages and archaeological sites of great historical value. With the aid of historical aerial photographs of a flight conducted in 1949 by SCE, it is intended to recover the original landscape corresponding to the flooded area, in order to identify such features.

The initial phase involved the selection and digitalization of the photographs that covered the study area. Using ArcMap, the photographs were framed over the respective digitalized sheets. Based on this framework and with the aid of a base map, a set of PPs was chosen, fulfilling several requirements. The points were coordinated in ETRS89, with RTK or rapid-static modes and using the SERVIR network (IGeoE). Two PPs were not coordinated due to terrain access restrictions. After the adjustment made to the coordinates obtained by the rapid-static mode, the final coordinates allowed the elaboration of all PPs' definite forms.

The blocks' photographic coverage spatial orientation was determined in ISAT through an automatic aerial triangulation, with a final sigma (standard deviation) of 4.8  $\mu\text{m}$  (under the defined tolerance of 20  $\mu\text{m}$ ). A point mesh, serving as a basis for the DSM was automatically extracted in ISAE. To avoid the possible existence of multiple elevation values for the same points, the overlapped areas between successive models of each row were eliminated in Microstation. Using ArcMap, the new point mesh was converted into a TIN, generating the DSM. In ArcScene application, a raster surface, generated from the TIN, was added as a basis for setting the altitude to the study area orthophotos mosaic, previously created in ISOP.

The final product was a tridimensional model with the actual terrain texture, which is now being studied and analyzed by archaeologists.

**Keywords:** photogrammetry, old aerial photos, orientations, bundle adjustment, orthophotos, digital elevation model



## Agradecimentos

A realização de um trabalho desta natureza requer a colaboração de diversas pessoas e instituições. Assim, gostaria de expressar os meus agradecimentos:

À minha orientadora, a Professora Doutora Paula Redweik, pela motivação, apoio, esclarecimentos e conhecimentos transmitidos;

À Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa pelo equipamento disponibilizado;

Ao Instituto Geográfico do Exército, pela oportunidade de realização deste estágio e por todo o material e equipamento disponibilizados;

Ao Tenente Coronel Luís Crispim, pela simpatia com que me recebeu no Instituto;

Ao Tenente Coronel Rui Dias, por todo o apoio, atenção, preocupação e esclarecimentos;

Ao Sargento-Ajudante José Dias, pela paciente e fundamental assistência no processo de triangulação aérea e nas tarefas seguintes;

À Alferes Ana Marques, pela ajuda e esclarecimentos;

Ao pessoal da Secção de Fotogrametria pela simpatia e boa disposição todos os dias;

Ao colega Mário Filipe, pela ajuda e companhia durante o estágio;

Aos colegas Lino Bento, Edgar Barreira, Pedro Mendonça e Vasco Conde pela ajuda, sugestões, conselhos e correções;

Ao Arqueólogo João Fonte e ao Professor José Alberto Gonçalves, pela colaboração neste trabalho;

E, por fim, à minha família por me terem proporcionado a realização do curso e pela preocupação e motivação durante estes últimos anos.

## Índice

Resumo .....	i
Abstract .....	ii
Agradecimentos.....	iii
Índice.....	iv
Índice de equações .....	vi
Índice de figuras .....	vii
Índice de tabelas .....	x
Lista de acrónimos .....	xi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do trabalho.....	1
1.2. Motivação.....	1
1.3. Objetivo do trabalho .....	1
1.4. Enquadramento institucional do estágio .....	2
1.5. Área de estudo.....	3
2. Evolução histórica da fotografia aérea.....	4
3. Conceitos importantes .....	9
3.1. Voo fotográfico.....	9
3.2. Câmaras métricas aéreas .....	10
3.2.1. A câmara aérea utilizada.....	10
3.3. Fotografias aéreas .....	11
3.4. Marcas fiduciais .....	12
3.5. Orientações em Fotogrametria .....	13
3.5.1. Orientação interna.....	13
3.5.2. Orientação externa.....	14
3.5.3. Orientação relativa .....	15
3.5.4. Orientação absoluta .....	15
4. Execução do trabalho .....	16
4.1. Seleção das folhas.....	16
4.2. Seleção das fotografias .....	17
4.3. Digitalização dos negativos.....	18
4.4. Georreferenciação das folhas .....	19
4.5. Determinação de informação importante relativa à cobertura .....	20
4.6. Enquadramento digital das fotografias sobre as folhas .....	21
4.6.1. Enquadramento por limites .....	21

4.6.2.	Enquadramento por ficheiro TFW .....	22
4.7.	Determinação do apoio fotogramétrico .....	23
4.7.1.	Escolha da localização dos PFs.....	24
4.7.2.	Elaboração das fichas provisórias dos PFs.....	25
4.8.	Coordenação dos PFs no terreno .....	25
4.8.1.	Método rápido-estático.....	26
4.8.2.	Método RTK.....	26
4.8.3.	Rede SERVIR .....	27
4.8.4.	Campanha de coordenação dos PFs.....	28
4.9.	Pós-processamento dos dados.....	31
4.10.	Elaboração das fichas dos pontos fotogramétricos.....	32
4.11.	Triangulação automática no ISAT .....	32
4.11.1.	Criação do projeto.....	32
4.11.2.	Definição dos dados da câmara.....	33
4.11.3.	Criação das fiadas.....	34
4.11.4.	Introdução dos pontos de controlo .....	34
4.11.5.	Introdução das fotografias, criação dos modelos e definição do bloco .....	34
4.11.6.	Execução da orientação interna.....	34
4.11.7.	Extração automática dos pontos de passagem e de ligação .....	35
4.11.8.	Triangulação aérea do bloco.....	36
4.11.9.	Correção da medição dos PFs.....	38
4.13.10.	Ajustamento final do bloco .....	40
4.13.11.	Densificação e <i>bulk orientation</i> .....	40
4.13.12.	Resultados finais.....	41
4.14.	Geração da amostra de pontos.....	41
4.15.	Geração da TIN .....	43
4.16.	Geração do mosaico.....	46
4.17.	Criação do modelo 3D com textura real.....	48
5.	Resultados.....	50
6.	Conclusões.....	53
7.	Referências bibliográficas.....	54
8.	Anexos.....	57

## **Índice de equações**

Equação 1 - Equações de colinearidade em ordem às coordenadas do ponto imagem.....	38
Equação 2 - Equações de colinearidade em ordem às coordenadas do ponto objeto.....	38

## Índice de figuras

Figura 1 - Barragem do Alto Rabagão (fotografia no local).....	3
Figura 2 - Enquadramento da área de estudo [Fonte <i>et al.</i> , 2012].....	3
Figura 3 - Enquadramento aproximado da área de estudo (imagem do Google Earth).....	4
Figura 4 - À esquerda, fotografia aérea de Boston por James Wallace Black e Sam King, em 1860. ....	5
Figura 5 - Câmaras aéreas instaladas em pombos e fotografias aéreas tiradas por estes animais .....	6
Figura 6 - Corrente de papagaios utilizada por George Lawrence e as respetivas fotografias aéreas de São Francisco.....	6
Figura 7 - À esquerda, fotografia aérea de zona rural sueca, tirada por Alfred Nobel. Ao centro, fotografia aérea de zona rural alemã e, à direita, o foguete de Albert Maul [PAPA International, 2012].....	7
Figura 8 – Stonehenge fotografado em 1906, a partir de um balão [English Heritage, 2012]. ....	7
Figura 9 – À esquerda, observador/fotógrafo aéreo militar da 1ª Guerra Mundial. À direita, fotografia aérea de trincheiras, em 1916 [PAPA International, 2012].....	8
Figura 10 – À esquerda, câmara aérea de Fairchild. À direita, a baixa de Manhattan construída com 100 fotografias aéreas, tiradas por Fairchild em 1921 [PAPA International, 2012]. ....	8
Figura 11 – Sobreposições exigidas em voos fotográficos para efeitos cartográficos (vista superior e de perfil). 10	
Figura 12 - Câmara aérea RMK S 1818 da Zeiss [Marques, 2009].....	11
Figura 13 - Em cima, localização das 4 marcas fiduciais de uma fotografia utilizada. Em baixo, vista aproximada de uma marca fiducial. ....	12
Figura 14 – Geometria interna e variáveis associadas a uma imagem capturada por uma câmara aérea [Santana, 2009]. ....	13
Figura 15 – Parâmetros de orientação externa de uma imagem capturada por uma câmara aérea [Santana, 2009]. ....	14
Figura 16 – À esquerda, orientação relativa de um par estereoscópico e o modelo estereoscópico gerado (sem relação com o terreno). À direita, orientação absoluta do modelo estereoscópico no espaço-objeto (terreno) [Redweik, 2011].....	15
Figura 17 – Localização da barragem no cartograma da série M888 da Carta Militar de Portugal do IGeoE no Google Earth (imagem do Google Earth). ....	16
Figura 18 – À esquerda, o <i>scanner</i> fotogramétrico utilizado na digitalização. À direita, um negativo pronto a ser digitalizado. ....	19
Figura 19 – Negativo digitalizado, antes (à esquerda) e após (à direita) o corte da área em excesso. ....	19
Figura 20 – Enquadramento dos limites das fotografias sobre as folhas da cartografia antiga georreferenciadas. ....	21
Figura 21 – Enquadramento dos limites das fotografias sobre as folhas da cartografia recente georreferenciadas. ....	22

Figura 22 - Enquadramentos dos ficheiros TFW sobre as folhas da cartografia antiga. ....	23
Figura 23 - Enquadramentos dos ficheiros TFW sobre as folhas da cartografia recente. ....	23
Figura 24 – Localização dos PFs na zona de estudo (imagem do Google Earth). ....	25
Figura 25 – Estações de referência GNSS da rede SERVIR [IGeoE, 2012b]. ....	28
Figura 26 – Localização dos PFs (amarelo – Alto Rabagão, vermelho – Venda Nova) (imagem do Google Earth). .....	28
Figura 27 – Percurso efetuado no 2º dia da campanha (início – PF6, fim – PF10) (imagem do Google Earth). ....	29
Figura 28 – Percurso efetuado no 3º dia de campanha (início – PF114, fim – PF7) (imagem do Google Earth). ....	30
Figura 29 – Percurso efetuado no 4º dia de campanha (início – PF3, fim – PF12) (imagem do Google Earth). ....	31
Figura 30 – Tolerâncias atribuídas às orientações e à triangulação. ....	33
Figura 31 – Coordenadas fotográficas das marcas fiduciais das fotografias. ....	33
Figura 32 – Exemplo da medição de uma marca fiducial no ISAT para a determinação da orientação interna da fotografia. ....	35
Figura 33 – Disposição das fiadas e localização aproximada dos PFs no ISAT. ....	35
Figura 34 – Bloco com todos os pontos de passagem e de ligação determinados no ISAT. ....	36
Figura 35 – Esquema da triangulação por feixes perspetivos [Redweik, 2010]. ....	37
Figura 36 – A paralaxe num par estereoscópico [Lathrop, 2005]. ....	39
Figura 37 – Correção da paralaxe de um PF no ISAT. ....	39
Figura 38 – EMQ (RMS - $\mu$ m) e resíduos (V - m) após eliminação da paralaxe dos PFs. ....	40
Figura 39 – Exemplo de um MDT (à esquerda) e de um MDS (à direita) de uma zona urbanizada [Redweik, 2011]. ....	41
Figura 40 – Geometria epipolar e planos epipolares [Nelson, 2007]. ....	42
Figura 41 – Em cima, os limites aproximados das áreas entre os centros de projeção dos pares estereoscópicos. Em baixo, a amostra de pontos gerada pelo ISAE. ....	43
Figura 42 – Exemplo de uma superfície e da malha triangular correspondente [Câmara <i>et al.</i> , 2001]. ....	44
Figura 43 – MDS com TIN gerada sobre a amostra, antes da eliminação dos pontos nas zonas de sobreposição de modelos. ....	45
Figura 44 – MDS com TIN gerada sobre a nova amostra, após a eliminação dos pontos nas zonas de sobreposição de modelos. ....	45
Figura 45 – Esquema da retificação de uma fotografia aérea [Nelson, 2007]. ....	46
Figura 46 – Processo de criação do mosaico no ISOP, com as <i>seamlines</i> geradas (a roxo). ....	47
Figura 47 – Mosaico final, após o corte das zonas sem informação (a preto). ....	47
Figura 48 – Esquema da obtenção do modelo 3D com textura real da zona da barragem do Alto Rabagão. ....	48
Figura 49 – Modelo 3D com textura real com as cotas reais (em cima), com fator 3 de sobrelevação das cotas (no centro) e com fator 5 de sobrelevação das cotas (em baixo). ....	49
Figura 50 – Várias perspetivas do modelo 3D com textura real, com fator 3 de sobrelevação das cotas. ....	49

Figura 51 – Alguns pormenores do terreno, no mosaico final. ....	50
Figura 52 – Reconstrução da Via Romana XVII na zona da barragem do Alto Rabagão [Fonte <i>et al.</i> , 2012]. ....	51
Figura 53 – Pisão em 1949 [Fonte <i>et al.</i> , 2012].....	51
Figura 54 – Castro da Idade do Ferro atualmente (em cima) e em 1949 (em baixo) [Fonte <i>et al.</i> , 2012]. ....	52
Figura 55 – Possíveis cistas funerárias romanas [Fonte <i>et al.</i> , 2012]. ....	52

## Índice de tabelas

Tabela 1 – Informação relativa às folhas utilizadas [IGeoE, 2012].....	17
Tabela 2 – Informação relativa às fiadas (fotografias e sentido) .....	18
Tabela 3 – Coordenadas dos quatro cantos das folhas utilizadas. A – canto superior esquerdo; B – canto superior direito; C – canto inferior esquerdo; D – canto inferior direito.....	20
Tabela 4 - Azimute e sobreposições longitudinais das fiadas. ....	34



## Lista de acrónimos

ASCII - *American Standard Code for Information Interchange*

CCD – *Charge-Coupled Device*

CPC – Centro de Produção Cartográfica

DAD – Departamento de Aquisição de Dados

DSM – *Digital Surface Model*

EMQ – Erro Médio Quadrático

ETRS – *European Terrestrial Reference System*

EUREF – *European Reference Frame*

FM – *Frequency Modulation*

FMC – *Forward Motion Compensation*

GNSS – *Global Navigation Satellite System*

GPRS – *General Packet Radio Service*

GPS – *Global Positioning System*

GSD – *Ground Sample Distance*

GSM – *Global System for Mobile communications*

HHC – *Hand-Held Controller*

IGeoE – Instituto Geográfico do Exército

IGP – Instituto Geográfico Português

ISAE – *ImageStation Automatic Elevations*

ISAT – *ImageStation Automatic Triangulation*

ISOP – *ImageStation OrthoPro*

IMU – *Inertial Measurement Unit*

ITRF - *International Terrestrial Reference Frame*

ITRS – *International Terrestrial Reference System*

LGO – *Leica Geo Office*

MDS – Modelo Digital de Superfície

MDT – Modelo Digital de Terreno

PF – Ponto Fotogramétrico

PP – *Photogrammetric Point*

PPA – Ponto Principal de Auto-colimação

PPS – Ponto Principal de Simetria

RAF – *Royal Air Force*

RE – Rápido-Estático

RINEX – *Receiver INdependent EXchange format*

RTK – *Real Time Kinematic*

SCE – Serviço Cartográfico do Exército

SERVIR - Sistema de Estações de Referência GNSS VIRTuais

SPLAL – Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos, Limitada

SICOM - Sistema Integrado de Comunicações das Forças Armadas

TFW – *TIFF World file*

TIFF – *Tagged Image File Format*

TIN – *Triangulated Irregular Network*

UHF – *Ultra High Frequency*

VHF – *Very High Frequency*

WGS - *World Geodetic System*

## **1. Introdução**

### **1.1. Enquadramento do trabalho**

Os levantamentos fotográficos aéreos realizados durante as décadas de 40 e 50 do século XX na região do Barroso, onde se situa a barragem do Alto Rabagão, permitem analisar a paisagem num período onde as principais alterações socioeconómicas, como o êxodo rural, ainda não tinham deixado uma marca profunda no território do país. Nas fotografias aéreas está retratada a realidade do espaço rural antes da mecanização da agricultura, do uso de fertilizantes de síntese e do abandono de muitas explorações agrícolas devido ao desenvolvimento industrial [Oliveira, 2011].

A produção de informação geográfica por fotogrametria aérea é composta por três grandes fases: (1) o voo fotográfico, (2) a determinação do apoio à restituição do pormenor (também denominada georreferenciação) e (3) a extração da informação da fotografia [Redweik, 2010]. Este trabalho incidirá na segunda e terceira fases da cadeia de produção, que permitiram restituir a informação adquirida num voo fotográfico realizado em 1949 pelo SCE na zona de estudo.

### **1.2. Motivação**

A evolução do conhecimento deu à engenharia um lugar de destaque na resolução e compreensão de problemas das mais diversas áreas. No caso particular da engenharia geográfica, o domínio das medições torna-a uma ferramenta de eleição para o auxílio da arqueologia. Com base em medições específicas e na determinação rigorosa da localização geográfica de elementos chave, é possível reconstituir cenários com vários séculos. Neste caso foram usadas técnicas de Topografia e Fotogrametria. Estas foram das principais técnicas desenvolvidas ao longo dos últimos anos em várias cadeiras do curso e são agora agrupadas para produzir matéria de estudo para a recuperação de uma paisagem primitiva. Com o trabalho completo, será possível aos arqueólogos chegarem a conclusões sobre a vivência primitiva e evolução área de estudo.

### **1.3. Objetivo do trabalho**

Com o auxílio de fotografias aéreas históricas de um voo realizado em 1949 pelo SCE, anterior à construção da barragem do Alto Rabagão, pretende-se recuperar a paisagem primitiva correspondente à área inundada, com o intuito de identificar elementos arqueológicos, parte da nossa herança cultural, como castros (povoados fortificados da Idade do Ferro), povoados romanos, o traçado de uma via romana, zonas mineiras e elementos etnográficos, entre outros. O produto final será um modelo tridimensional da zona da barragem, com a textura real do terreno, no sistema Hayford-Gauss/ETRS89 (PT-TM06).

#### **1.4. Enquadramento institucional do estágio**

No dia 1 de Julho de 1993, o Serviço Cartográfico do Exército sofreu uma reestruturação que deu lugar ao Instituto Geográfico do Exército. Este herdou o espólio e as tradições cartográficas militares portuguesas, passando a ser o órgão responsável pela cartografia do Exército com dependência hierárquica e funcional atribuída ao Comando da Logística. Apesar do seu produto mais conhecido ser a Carta Militar de Portugal à escala 1:25000, as atividades do IGeoE são bem mais abrangentes e diversificadas, como se pode constatar pelas últimas décadas de produção cartográfica [IGeoE, 2012a].

O IGeoE tem como missão prover com informação geográfica e apoio geográfico o Exército, assim como fornecer informação geográfica a outros ramos das Forças Armadas e à comunidade civil, assegurando a execução de atividades relacionadas com a ciência geográfica, a técnica cartográfica e a promoção e desenvolvimento de ações de investigação científica e tecnológica no domínio do apoio geográfico e da geomática, com qualidade e diversidade nos seus produtos, processos e serviços [IGeoE, 2012a].

Este trabalho foi realizado na Secção de Fotogrametria do Departamento de Aquisição de Dados (DAD), parte integrante do Centro de Produção Cartográfica (CPC). O CPC tem como missão produzir e manter a base de dados geográficos de todas as séries cartográficas à responsabilidade do IGeoE. No DAD realiza-se o apoio fotogramétrico, reconhecimento e restituição das fotografias aéreas e/ou imagens digitais que servem de suporte à aquisição de informação para a base de dados geográfica, completagem da informação restituída, salvaguarda e preservação dos processos que originaram os dados adquiridos e ainda a produção de ortofotocartas e ortoimagens [IGeoE, 2012a].

### 1.5. Área de estudo

A barragem do Alto Rabagão situa-se na bacia hidrográfica do Cávado, em plena região do Barroso, no concelho de Montalegre, Trás-os-Montes. A 80 km de Braga, a 50 km de Chaves e à margem da estrada nacional 103, que liga estas duas cidades, esta barragem foi construída entre 1958 e 1964, ano em que entrou em funcionamento. Com cerca de 10 km de comprimento e 2 km de largura, tem uma área inundável ao nível pleno de armazenamento de cerca de 2212 hectares e uma albufeira com capacidade total de armazenamento de  $568690 \times 1000 \text{ m}^3$  [Espigueiro, 2012].



Figura 1 - Barragem do Alto Rabagão (fotografia no local).

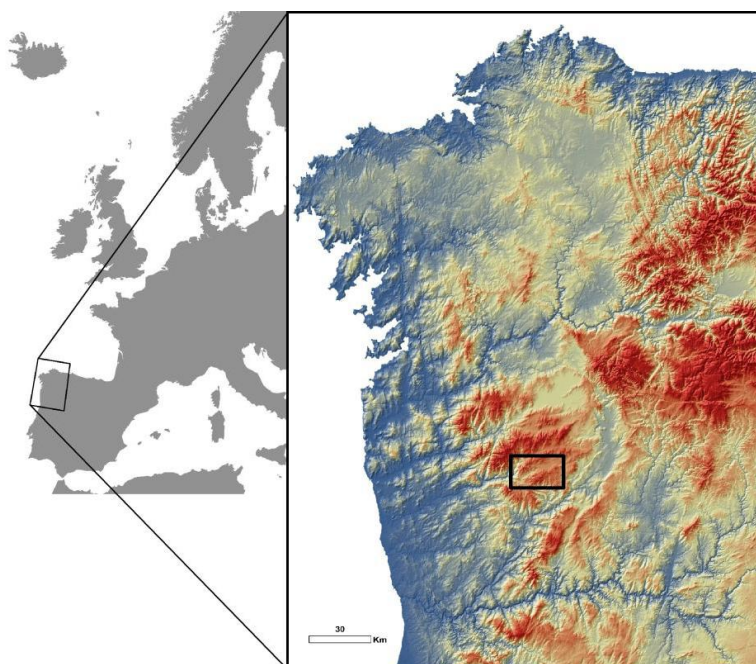


Figura 2 - Enquadramento da área de estudo [Fonte *et al.*, 2012].

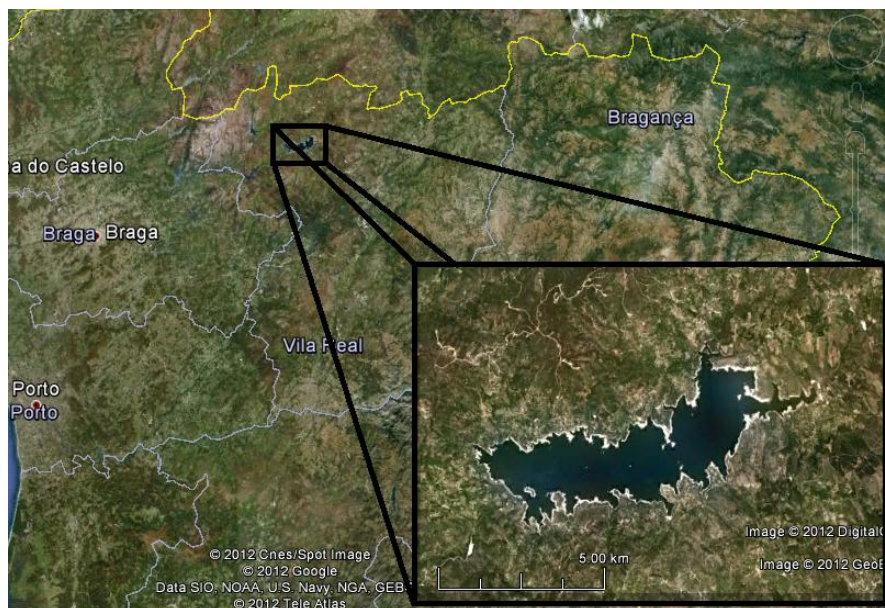


Figura 3 - Enquadramento aproximado da área de estudo (imagem do Google Earth).

## 2. Evolução histórica da fotografia aérea

A fotografia aérea ocupa um lugar especial entre os diversos segmentos da fotografia, principalmente pelas imagens capturadas, que têm tido um impacto profundo na maneira como nos vemos e como vemos o mundo ao nosso redor [Aerial Arts, 2012]. Ao registarem a superfície terrestre, as fotografias aéreas são uma das principais fontes de informação disponível para avaliar não só a cobertura do solo e a sua morfologia, mas também o resultado das atividades humanas e dos fenómenos naturais. A existência de séries temporais de fotografias aéreas para uma dada região possibilita a realização de estudos sobre a sua dinâmica espaço-temporal e são fundamentais para o objeto de estudo de diversas áreas [Oliveira, 2011]. Assim, a fotografia aérea é uma ferramenta muito importante na descoberta de locais arqueológicos, pois permite entender as paisagens, revelando características muito esbatidas, muito grandes ou muito descontínuas para serem apreciadas ao nível do solo [Past Perfect, 2012]. Por exemplo, no Reino Unido, cerca de metade dos locais conhecidos já foram registados através de fotografias aéreas e, todos os anos, centenas de locais desconhecidos são identificados usando este método [Historic Cornwall, 2012].

Pouco tempo após a invenção da fotografia, os pioneiros fotográficos começaram a voltar a sua atenção para a vista aérea. No entanto, esta não era uma tarefa fácil, pois todo o material necessário para as fotografias aéreas, incluindo a câmara escura e o abastecimento de água tinha de ser montado num balão e todos os passos necessários até à revelação tinham de ser feitos com uma placa húmida, num prazo máximo de 20 minutos. O primeiro a realizar esta proeza com sucesso foi o fotógrafo e balonista francês Gaspard-Félix Tournachon, mais conhecido como Nadar. Em 1855, Nadar patenteou a ideia de utilizar fotografias aéreas em Cartografia e Topografia, mas foi apenas passados 3 anos de experiências que, em 1858, fotografou a pequena

aldeia francesa de Petit-Bacetre a partir de um balão de ar quente. Embora tenha desaparecido, a imagem ficou conhecida como a primeira fotografia aérea [Aerial Arts, 2012].

Em 1860, James Wallace Black e Sam King, também a partir de um balão, fizeram várias tentativas para fotografar a cidade de Boston. A única que resultou é conhecida como a fotografia aérea mais antiga conservada até hoje [Old Aerial Photos, 2012]. Nadar continuou com as suas experiências, tendo sido o primeiro a fotografar de balão a cidade de Paris em 1866 [Aerial Arts, 2012]. As experiências prolongaram-se pelos 40 anos seguintes em França, Inglaterra e Rússia mas muito poucas fotografias conseguiram sobreviver [Old Aerial Photos, 2012].



Figura 4 - À esquerda, fotografia aérea de Boston por James Wallace Black e Sam King, em 1860.  
À direita, fotografia aérea de Paris por Nadar, em 1866.

Com o desenvolvimento do processo de revelação com placas secas, deixou de ser necessário carregar tanto equipamento nos balões e, em 1879, Triboulet realizou a primeira missão nestas condições sobre Paris [PAPA International, 2012]. Contudo, a fotografia aérea a partir de balões revelava alguns perigos e, por isso, ainda no final do séc. XIX, com os avanços desenvolvidos na fotografia, começaram a ser instaladas câmaras em pombos correio, papagaios e foguetes. As câmaras, instaladas nos peitos dos pombos, tiravam uma fotografia a cada 30 segundos mas, apesar dos pombos serem mais rápidos que os balões, as rotas que tomavam eram imprevisíveis [Old Aerial Photos, 2012].





Figura 5 - Câmaras aéreas instaladas em pombos e fotografias aéreas tiradas por estes animais [PAPA International, 2012].

As primeiras fotografias com sucesso tiradas a partir de papagaios datam de 1882, mas foi a devastação causada pelo terramoto e incêndio de São Francisco em 1906 que deu origem a algumas das mais famosas fotografias. George Lawrence utilizou uma corrente de 17 papagaios para elevar uma câmara panorâmica extremamente pesada, fotografando a cidade após a catástrofe [PAPA International, 2012].



Figura 6 - Corrente de papagaios utilizada por George Lawrence e as respetivas fotografias aéreas de São Francisco [PAPA International, 2012].

O sueco Alfred Nobel, hoje em dia mais conhecido pelo prémio Nobel, foi o primeiro a tirar com sucesso uma fotografia aérea com uma câmara montada num foguete, em 1897. Contudo, em 1906, o alemão Albert Maul desenvolveu um método mais fidedigno utilizando um foguete propelido com ar comprimido. A câmara tirou uma fotografia a uma altitude de 2600 pés, sendo depois ejetada em direção à terra com um para-quedas [PAPA International, 2012]. No mesmo ano, o Stonehenge foi fotografado a partir de um balão pelo Tenente Philip Henry Sharpe, dando origem à primeira fotografia aérea associada à arqueologia [Historic Cornwall, 2012].





Figura 7 - À esquerda, fotografia aérea de zona rural sueca, tirada por Alfred Nobel. Ao centro, fotografia aérea de zona rural alemã e, à direita, o foguete de Albert Maul [PAPA International, 2012].



Figura 8 – Stonehenge fotografado em 1906, a partir de um balão [English Heritage, 2012].

A primeira fotografia aérea a partir de um avião foi tirada em 1909, sobre um campo militar perto de Roma. Rapidamente, os militares reconheceram o valor das fotografias aéreas para diversas tarefas, desde a espionagem à monitorização de movimentos de tropas inimigas. Assim, durante a Primeira Guerra Mundial, houve grandes desenvolvimentos nesta área, como a substituição das placas de vidro por rolos de filme e a adaptação dos aviões às câmaras aéreas. Milhões de fotografias terão sido tiradas até ao final da guerra em 1918 [Old Aerial Photos, 2012].

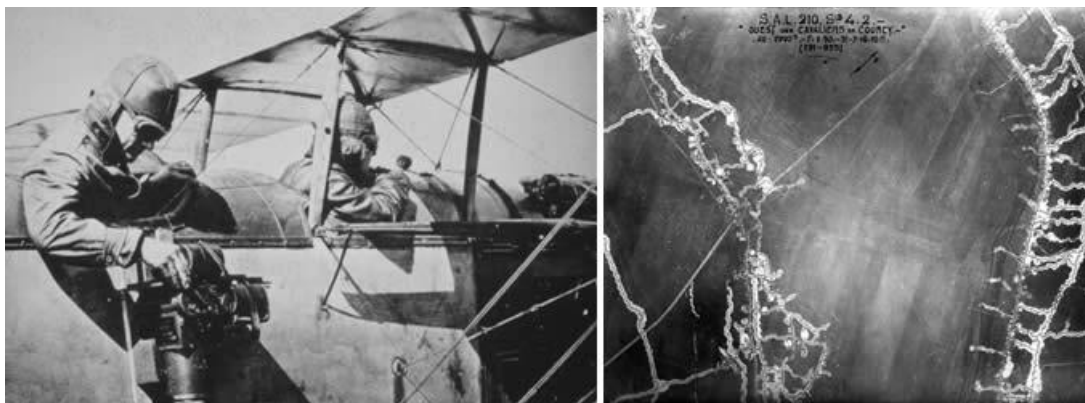


Figura 9 – À esquerda, observador/fotógrafo aéreo militar da 1ª Guerra Mundial. À direita, fotografia aérea de trincheiras, em 1916 [PAPA International, 2012].

Após o final da guerra, muitas empresas começaram a utilizar as técnicas recentemente desenvolvidas para fins mais pacíficos, nomeadamente a cartografia. Em 1921, Sherman Fairchild tirou uma série de fotografias aéreas sobrepostas e construiu um mapa aéreo de Manhattan, que se tornou um sucesso comercial por ser bastante mais rápido e barato que os levantamentos terrestres. A grande dedicação de Fairchild à fotografia aérea levou-o a desenhar e construir aviões mais protegidos e estáveis para o transporte de câmaras e ainda a desenvolver câmaras fotográficas que chegaram a ser levadas em missões de exploração e mapeamento lunar [PAPA International, 2012].

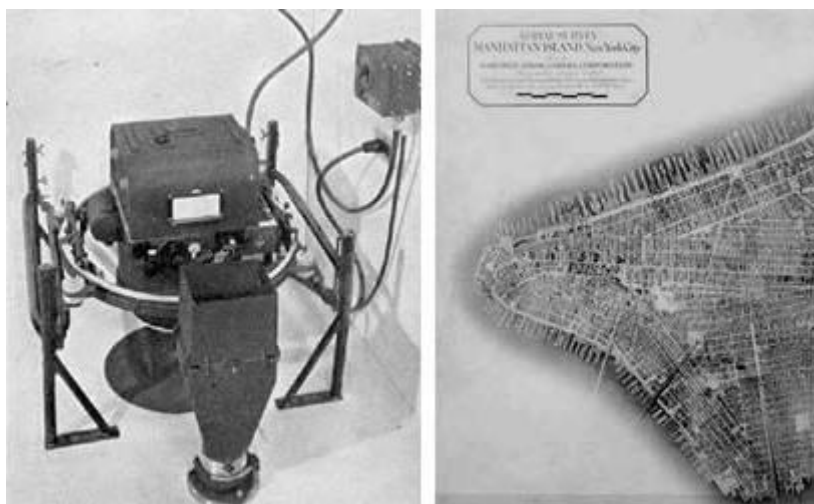


Figura 10 – À esquerda, câmara aérea de Fairchild. À direita, a baixa de Manhattan construída com 100 fotografias aéreas, tiradas por Fairchild em 1921 [PAPA International, 2012].

Na década de 1930, a fotografia aérea tornou-se relativamente comum e os levantamentos aéreos eram praticados com regularidade. O desenvolvimento tecnológico da fotografia aérea aumentou novamente durante a Segunda Guerra Mundial e a importância dos levantamentos aéreos era agora apreciada por mais países. Nas décadas de 1940 e 1950, grandes levantamentos foram realizados por militares americanos, ingleses e russos,

sendo que muitos deles foram feitos em segredo, devido a questões de segurança no decorrer da Guerra Fria. Nas décadas seguintes os levantamentos continuaram, sendo realizados por organizações comerciais para governos locais e centrais e projetos de engenharia civil, entre outros. Na década de 1980, apesar de ter sido feita a transição do filme a preto e branco para o filme a cores, não houve muitos mais avanços. Foi já no final da década de 1990 que a fotografia aérea entrou na era digital, o que veio facilitar a organização, reprodução e distribuição de fotografias. A variedade de produtos e aplicações também aumentou. Modelos digitais de elevação, ortofotos e modelos tridimensionais de edifícios viram a sua produção facilitada e o seu preço reduzido. A resolução também melhorou à medida que a escala das fotos diminuiu, assim como o tamanho e peso das câmaras [Old Aerial Photos, 2012].

Hoje em dia as fotografias aéreas são de excelente qualidade e de alta resolução e têm uma utilização generalizada em diversas áreas desde o comércio, indústria e agricultura, a clientes governamentais ou privados [PAPA International, 2012]. Muitas fotografias são atualmente disponibilizadas ao público de forma global e gratuita através de plataformas como o Google Earth [Old Aerial Photos, 2012].

### **3. Conceitos importantes**

#### **3.1. Voo fotográfico**

Um voo fotográfico tem como objetivo obter a cobertura de uma determinada área à superfície terrestre. Essa cobertura, composta por um conjunto de fotografias, deve ser feita de forma a possibilitar a restituição, por estereoscopia ou ortoretificação, de toda a sua área. Para tal, as fotografias aéreas devem ser obtidas com os eixos aproximadamente paralelos e com uma zona de sobreposição entre cada par, ao longo de cada fiada. Apenas as zonas de sobreposição podem ser observadas e restituídas estereoscopicamente. No caso da retificação, a sobreposição permite a utilização da zona central das fotografias para a ortofotografia final [Redweik, 2011].

Os voos fotográficos para efeitos cartográficos executam-se geralmente com uma sobreposição longitudinal, ou seja, ao longo de uma fiada na direção do voo, de 60% da dimensão da fotografia e com uma sobreposição lateral, ou seja, na direção perpendicular à do voo, de pelo menos 20%. A sobreposição longitudinal permite a visualização tridimensional e a restituição estereoscópica e a sobreposição lateral permite constituir uma margem de segurança para evitar lacunas entre fiadas [Redweik, 2011].

O cartograma da cobertura aérea de Portugal às escalas 1:25000 e 1:250000, realizada por voos da SPLAL e do SCE entre 1937 e 1952 pode ser consultado no Anexo A.

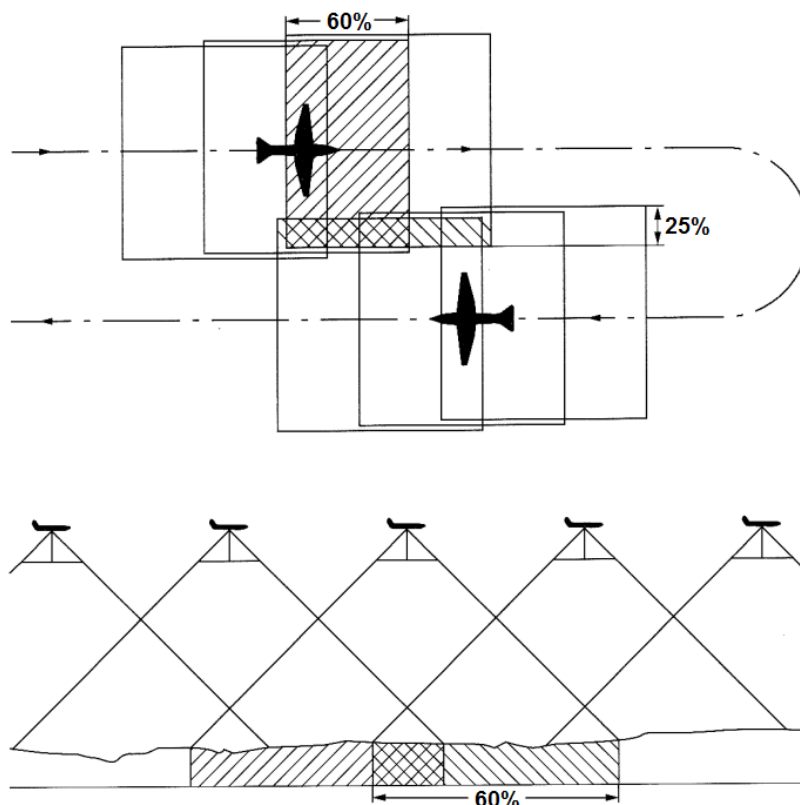


Figura 11 – Sobreposições exigidas em voos fotográficos para efeitos cartográficos (vista superior e de perfil) [SEOS, 2012].

### 3.2. Câmaras métricas aéreas

Na fotografia aérea, com finalidades fotogramétricas, são utilizadas câmaras métricas aéreas aerotransportadas. Estas câmaras possuem uma estrutura rígida que solidariza o sistema ótico e o plano imagem [Casaca *et al.*, 2005] e são concebidas para serem montadas de modo permanente numa plataforma aérea, sendo o caso mais frequente a sua utilização em aviões. Para isso, as câmaras têm de ser adequadas aos aviões e não podem, por exemplo, causar interferências eletromagnéticas nem perturbar o modo de funcionamento normal do aparelho. As câmaras aéreas analógicas, como a que foi utilizada na obtenção das fotografias aéreas deste trabalho, produzem fotografias em suporte de filme [Redweik, 2011].

#### 3.2.1. A câmara aérea utilizada

A identificação da câmara utilizada em 1949 no voo do SCE que efetuou a cobertura da zona de estudo não foi uma tarefa fácil, visto que não existia um certificado de calibração. A informação da distância focal (204.4 mm), da posição e forma das marcas fiduciais, do formato das fotografias (18×18 cm) e do ano em que foram tiradas deveria ser suficiente para identificar a câmara. Contudo, mesmo após uma pesquisa minuciosa em publicações contemporâneas não surgiu uma única fotografia que se parecesse com as obtidas pela SPLAL. Como a forma das marcas fiduciais era semelhante às de uma câmara da Zeiss, alguns especialistas foram

questionados e, segundo eles, existia uma grande probabilidade de que as fotografias tivessem sido obtidas com uma RMK S 1818 ou com uma RMK HS 1818, ambas distribuídas pela Zeiss-Aerotopograph desde 1935 [Redweik *et al.*, 2009].

Uma pesquisa em literatura da época revelou referências à câmara RMK S 1818, utilizada em voos fotográficos e cujas características eram coerentes com as do conjunto de fotografias do estudo. Além disto, o manual original desta câmara foi também encontrado na biblioteca do IGeoE, sendo as características da câmara (filme fotográfico, distância focal e marcas fiduciais) coincidentes com as das fotografias. Assim, concluiu-se que a câmara utilizada foi uma RMK S 1818 da Zeiss [Marques, 2009].

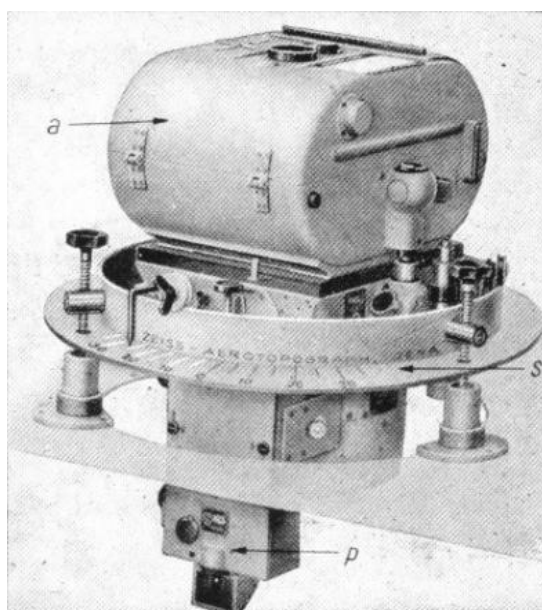


Figura 12 - Câmara aérea RMK S 1818 da Zeiss [Marques, 2009].

### 3.3. Fotografias aéreas

Uma fotografia é considerada área quando é obtida através de uma câmara instalada numa plataforma aerotransportada. Denomina-se vertical/nadiral quando o eixo ótico da câmara se encontra aproximadamente vertical (com um desvio inferior a  $4^\circ$ ) no momento da exposição, caso contrário, é oblíqua. A obtenção de fotografias nadirais requer, entre outros fatores, a utilização de aviões com grande estabilidade durante o voo, condições atmosféricas favoráveis e uma navegação muito cuidada por parte do piloto [Casaca *et al.*, 2005].

A escala de uma fotografia aérea é a relação entre um comprimento unitário horizontal no terreno e o comprimento correspondente na imagem. A escala média da imagem no centro da imagem é dada pelo quociente da distância focal da câmara pela altitude do voo [Casaca *et al.*, 2005].

### 3.4. Marcas fiduciais

As marcas fiduciais das fotografias são referências coordenadas de acordo com o relatório de calibração da câmara, que determinam o centro de projeção das imagens. Podem ser 4 ou 8 marcas por fotografia.

Nas câmaras analógicas, o sistema de coordenadas fotográficas é definido pelas marcas fiduciais no plano imagem (plano de vidro na parte superior do cone da objetiva onde é planificada a película durante a exposição) e a sua origem, denominada por ponto médio da foto, é dada pela interseção das retas que unem marcas fiduciais diametralmente opostas [Redweik, 2011].

Numa fotografia aérea, as marcas fiduciais, para além de permitirem a determinação da posição do ponto de colimação da imagem e a definição do sistema de coordenadas fotográficas, são também responsáveis pelo conhecimento da posição em que a imagem se encontrava dentro da câmara na altura da exposição. A ordem pela qual as marcas são medidas tem influência direta no sentido dos eixos do sistema de coordenadas fotográficas. É, portanto, fundamental conhecer não só qual é a primeira marca que deve ser medida, mas também a ordem pela qual as restantes devem ser observadas. Esta informação é normalmente fornecida pelos certificados de calibração [Roque, 2009].

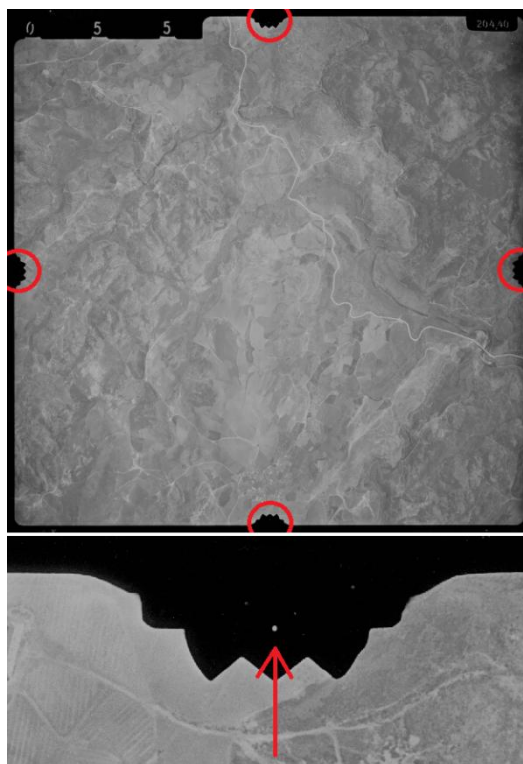


Figura 13 - Em cima, localização das 4 marcas fiduciais de uma fotografia utilizada. Em baixo, vista aproximada de uma marca fiducial.

### 3.5. Orientações em Fotogrametria

Quando uma câmara fotográfica obtém uma fotografia num determinado ponto no espaço, existe uma relação espacial única entre a imagem que se forma no plano imagem dentro da câmara e o objeto fotografado. Cada fotografia tem uma relação espacial momentânea com a câmara, definida por um conjunto de parâmetros que permitem recuperar a relação espacial fotografia-objeto existente no momento da captação da imagem. Esta relação permite realizar a restituição, isto é, a extração de informação geométrica do objeto com apenas uma ou mais imagens em qualquer momento posterior. A determinação dos parâmetros e a recuperação da relação espacial primitiva constituem um conjunto de operações denominado orientação fotogramétrica. Cada fotografia tem uma orientação interna e uma orientação externa que a posicionam completamente no espaço-objeto [Redweik, 2011].

#### 3.5.1. Orientação interna

A orientação interna refere-se à posição do plano imagem dentro da câmara e à definição do feixe perspetivo de raios luminosos que originou a imagem. A sua determinação consiste em colocar as imagens na posição igual à que tinham dentro da câmara, no momento em que foram obtidas. Os parâmetros numéricos de orientação interna de uma câmara são a constante da câmara (distância do centro ótico da objetiva ao plano imagem numa câmara ideal) e as coordenadas fotográficas do ponto principal ( $x_0$ ,  $y_0$ ). Incluem-se ainda, a distorção radial (causada pelo sistema de lentes da objetiva), a distorção tangencial (causada pela descentragem das diversas lentes) e outras distorções que afetem a imagem, como a falta de planicidade da película nas imagens analógicas ou erros de transformação nas imagens digitais. Todos os dados da orientação interna de uma câmara são registados no certificado de calibração. [Redweik, 2011].

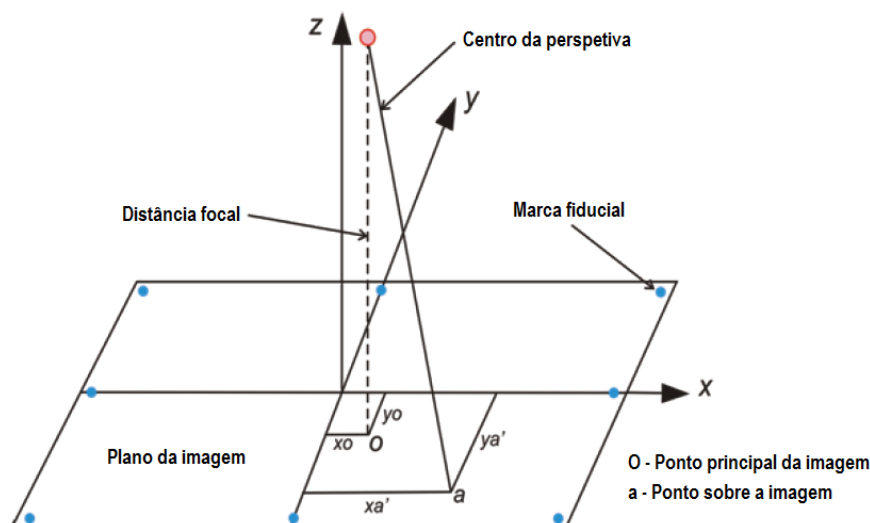


Figura 14 – Geometria interna e variáveis associadas a uma imagem capturada por uma câmara aérea [Santana, 2009].

### 3.5.2. Orientação externa

A orientação externa refere-se à posição da câmara e à orientação do eixo fotográfico no espaço-objeto. Para definir a orientação externa de uma fotografia são necessários 6 parâmetros independentes que são as coordenadas objeto do centro de projeção e três ângulos independentes que definem a orientação do eixo fotográfico (eixo ótico) no espaço e que são também parâmetros de uma matriz de rotação espacial que transforma as coordenadas objeto (terreno) em coordenadas fotográficas. Estes parâmetros são o  $\omega$  (ângulo de rotação em torno do eixo dos XX do sistema de coordenadas objeto), o  $\varphi$  (ângulo de rotação em torno do eixo dos YY do sistema de coordenadas objeto) e o  $\kappa$  (ângulo de rotação em torno do eixo dos ZZ do sistema de coordenadas objeto) [Redweik, 2011].

Os parâmetros de orientação externa podem ser determinados direta ou indiretamente. O modo direto consiste na determinação dos parâmetros na fase de aquisição da fotografia, geralmente durante o voo, com um sistema GPS/IMU. O modo indireto é mais comum e consiste na determinação analítica dos parâmetros a partir de um mínimo de 3 pontos não colineares de coordenadas objeto conhecidas (pontos fotogramétricos) que apareçam na fotografia [Redweik, 2011].

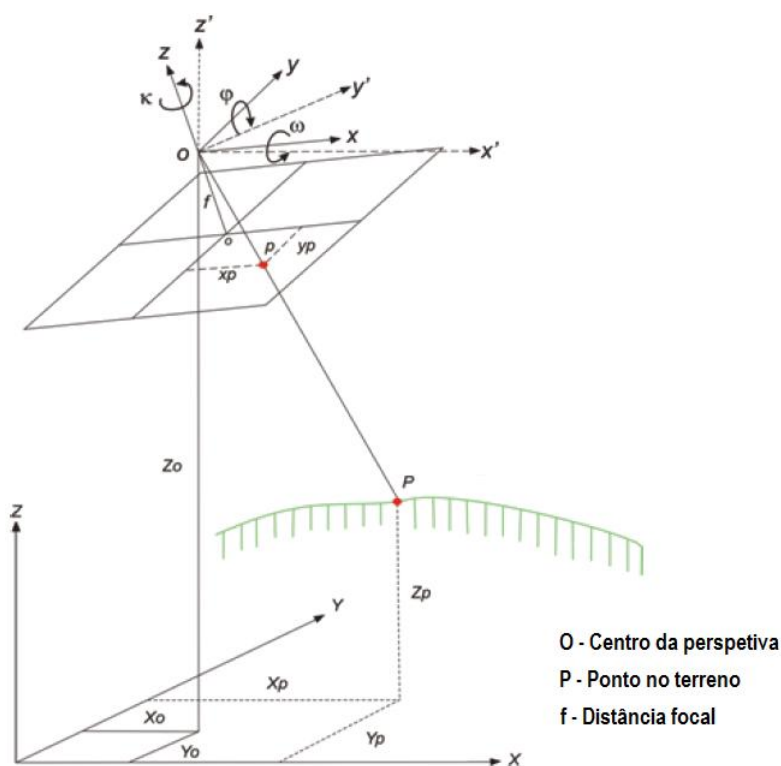


Figura 15 – Parâmetros de orientação externa de uma imagem capturada por uma câmara aérea [Santana, 2009].



### 3.5.3. Orientação relativa

A orientação relativa refere-se à posição relativa de duas ou mais fotografias do mesmo objeto no momento em que foram obtidas. A sua determinação consiste na formação de um modelo estereoscópico, ou seja, um modelo virtual do objeto, observável e mensurável tridimensionalmente, garantindo que os raios dos pontos conjugados se intersetem, reconstruindo a geometria epipolar [Matos, 2007; Redweik, 2011].

A orientação relativa de duas fotografias é definida num sistema de coordenadas modelo tridimensional, que não tem de coincidir com o sistema de coordenadas terreno, pelo vetor que une os dois centros de projeção (base do modelo) e pelas rotações espaciais relativas das duas fotografias. São suficientes 5 parâmetros, cuja escolha é variável, porque na fase de aquisição, em cada ponto do objeto, os raios luminosos que formam as imagens do ponto nas duas fotos e a base do modelo (plano epipolar) são coplanares [Redweik, 2011].

### 3.5.4. Orientação absoluta

A relação entre o modelo estereoscópico no espaço-objeto e a sua escala com o sistema de coordenadas do espaço-objeto constitui a orientação absoluta do modelo. Esta orientação consiste na determinação dos parâmetros de escala, rotação e translação, que permitem escalar, orientar e nivelar o modelo estereoscópico, ligando-o ao terreno. Para definir a orientação absoluta é necessário um conjunto de 7 parâmetros que inclui um fator de escala entre as coordenadas modelo e terreno, três componentes de translação entre as origens dos sistemas de coordenadas modelo e terreno e três componentes de rotação espacial também entre os sistemas de coordenadas modelo e terreno [Casaca *et al.*, 2005; Redweik, 2011].

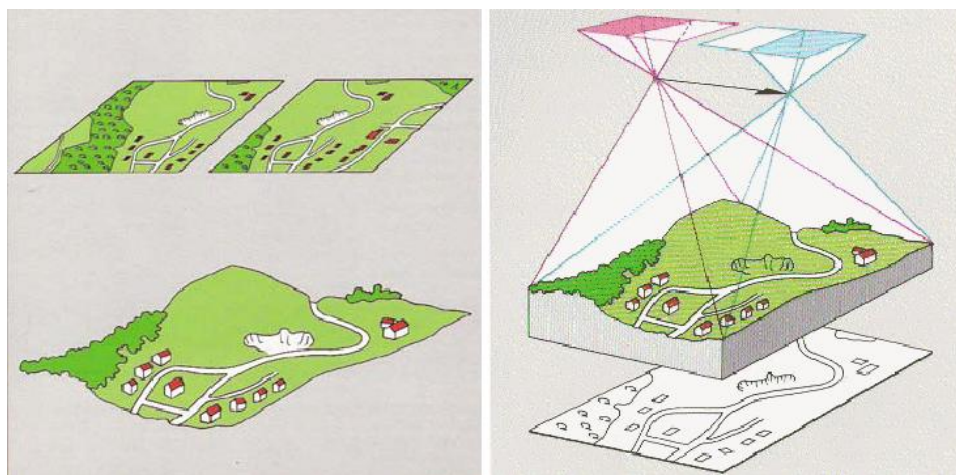


Figura 16 – À esquerda, orientação relativa de um par estereoscópico e o modelo estereoscópico gerado (sem relação com o terreno). À direita, orientação absoluta do modelo estereoscópico no espaço-objeto (terreno) [Redweik, 2011].

## 4. Execução do trabalho

### 4.1. Seleção das folhas

A área da albufeira do Alto Rabagão está inserida nas folhas 32, 33 e 45 da carta 1:25000 da série M888 (Portugal Continental) da Carta Militar de Portugal do IGeoE. Esta informação foi obtida através de um cartograma, previamente exportado para formato KMZ, na aplicação ArcView, adaptado para consulta no Google Earth, no sistema de coordenadas WGS84<sup>1</sup> [Caderno, 2012].



Figura 17 – Localização da barragem no cartograma da série M888 da Carta Militar de Portugal do IGeoE no Google Earth (imagem do Google Earth).

Com esta informação, foram adquiridas as folhas correspondentes às cartografias antiga e recente, tanto em formato físico como em digital, que se encontram no sistema Hayford-Gauss/Datum Lisboa Militar. Este sistema foi utilizado pelo SCE e posteriormente pelo IGeoE, até Maio de 2001, na produção de diversas cartas, nas quais está incluída a carta topográfica militar de Portugal à escala 1:25000 [Casaca *et al.*, 2005]. É um sistema derivado do Hayford-Gauss/Datum Lisboa<sup>2</sup> através de uma translação do sistema de eixos (com origem

<sup>1</sup> O WGS84 é um sistema global de referência, atualmente associado ao GPS, utilizado na determinação de efemérides radiodifundidas, nas operações dos satélites e no cálculo convencional de coordenadas [Antunes, 2012]

<sup>2</sup> O sistema Hayford-Gauss/Datum Lisboa é um sistema de projeção, estabelecido em Portugal Continental na década de 1930, que utiliza o elipsoide de Hayford e a projeção de Gauss-Krüger. O ponto de fixação do elipsoide (origem da rede geodésica) situa-se no observatório astronómico do Castelo de São Jorge. O ponto central e a origem das coordenadas cartográficas coincidem num ponto a cerca de 2963 metros do vértice geodésico de 1ª ordem Melriça [Catalão, 2007].

no ponto central) de 200 km segundo a perpendicular no sentido oeste e de 300 km segundo a meridiana no sentido sul, com a finalidade de situar Portugal continental num só quadrante, tornando positivas todas as suas coordenadas cartográficas. Assim, resultou uma nova origem fictícia do sistema de eixos localizada a sudoeste do Cabo de São Vicente e Portugal ficou inscrito num único quadrante e num retângulo de 600 km segundo a meridiana por 400 km segundo a perpendicular [Catalão, 2007].

Tabela 1 – Informação relativa às folhas utilizadas [IGeoE, 2012].

Carta	Folha	Título	Edição	Trabalhos de campo	Ano de publicação	Autor
1:25000	32	Montalegre	1ª	1949	1953	Serviço Cartográfico do Exército
			2ª	1995	1996	Instituto Geográfico do Exército
	33	Serraquinhos	1ª	1949	1953	Serviço Cartográfico do Exército
			2ª	1995	1997	Instituto Geográfico do Exército
	45	Alturas do Barroso (Boticas)	1ª	1949	1953	Serviço Cartográfico do Exército
			2ª	1995	1997	Instituto Geográfico do Exército

#### 4.2. Seleção das fotografias

O repositório de fotografias aéreas antigas do IGeoE contém cerca de 60000 fotografias pertencentes a conjuntos distintos e em diversos formatos. Os conjuntos incluem, para além de algumas fotografias de fonte desconhecida, cerca de 40000 fotografias SPLAL e RC8 e 12000 fotografias RAF. Os conjuntos conhecidos como SPLAL e RAF constituem os maiores e mais antigos levantamentos sistemáticos da superfície de Portugal, sendo também os mais solicitados. Os formatos incluem placas de vidro, negativos em filme fotográfico e filmes originais enrolados em carretéis e guardados em recipientes cilíndricos de metal, armazenados numa sala refrigerada e ainda impressões em papel de fotografia, armazenadas noutra sala, à temperatura ambiente. Esta informação é muitas vezes a única ligação entre as imagens e o terreno. Com o passar do tempo, deslocalizações e a ocorrência de um incêndio em 1975 nas antigas instalações do SCE, algumas fotografias terão sido danificadas, não existindo registos do que se terá perdido e do que restou [Redweik *et al.*, 2009].

Os negativos das fotografias encontram-se guardados em envelopes de papel identificados pela fiada e número da fotografia, dentro de caixas rotuladas com o número da folha da Carta Militar à escala 1:25000. Após a seleção das caixas correspondentes à zona de estudo, os negativos foram colocados sobre as folhas, na zona correspondente, através do reconhecimento visual de elementos comuns no terreno de fácil identificação, tanto na folha como na fotografia (por exemplo, estradas, rios ou localidades). No total foram selecionados 60 negativos, distribuídos por 7 fiadas (D, E, F, G, H e I nas folhas 32 e 45 e A na folha 33), que cobriam toda a albufeira e alguma área envolvente. Este processo possibilitou também a determinação da orientação de cada fiada através da ordem crescente dos números das suas fotografias.

Tabela 2 – Informação relativa às fiadas (fotografias e sentido).

Folha	32 / 45						33
Fiada	D	E	F	G	H	I / I <sub>2</sub> Lac	A
Foto	60	174	353	250	212	291	324
	59	175	352	251	211	290	325
	58	176	351	252	210	289	326
	57	177	350	253	209	288	327
	56	178	349	254	208	287	328
	55	179	348	255	207	286	329
	54	180	347	256	206	284	
	53	181	346	257	205	285	
	52		345	258	204		
			344				
			343				
Sentido	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↓

#### 4.3. Digitalização dos negativos

Para mais tarde se poder efetuar a triangulação automática, foi necessário digitalizar os negativos, que se encontravam em formato analógico. Cada fotografia digitalizada foi identificada pelo número da folha, letra da fiada e pelo seu número (por exemplo, 32\_D\_055 é a fotografia número 55 da fiada D da folha 32). O equipamento utilizado para este processo foi o *scanner* fotogramétrico de alta definição PhotoScan TD da Zeiss/Intergraph, que se encontra numa pequena sala climatizada, a uma temperatura de cerca de 22°C, para preservação do material fotográfico que nela se encontra.

Os *scanners* usados em fotogrametria digital são geralmente dotados de dispositivos de vácuo, a fim de evitar distorções na imagem fotográfica digitalizada. Essas distorções podem ser causadas pela camada de ar entre a base do fotograma a ser digitalizado e o seu respetivo suporte no *scanner*. Um facto importante que deve ser tido em conta é a perda de informação decorrente do processo de digitalização. Essa perda é inevitável, uma vez que ainda não existem dispositivos capazes de registar integralmente toda a complexidade radiométrica da imagem original. A perda de resolução geométrica pode ser evitada mas, frequentemente, alguma perda é desejável, assim como na radiometria, para reduzir o tamanho dos arquivos finais [Coelho e Brito, 2007].

A imagem analógica é captada pelo sensor CCD do *scanner* e é representada por uma matriz regular de pixéis onde cada um é associado a um número digital correspondente ao nível de cinzento da imagem original (256 níveis onde 0 corresponde ao preto e 255 ao branco). Para o propósito deste trabalho considerou-se adequada uma resolução radiométrica de 8 bits, uma dimensão do pixel da imagem final de 21 µm e um formato de 23×23 cm, superior ao original de 18×18 cm, para evitar perda de informação durante a digitalização. Todo o processo de digitalização demorou, para cada negativo, aproximadamente 10 minutos e o formato de saída escolhido foi o TIFF (*uncompressed*).





Figura 18 – À esquerda, o *scanner* fotogramétrico utilizado na digitalização. À direita, um negativo pronto a ser digitalizado.

A área em excesso das imagens digitalizadas, resultado da escolha do formato de 23×23 cm na digitalização, foi cortada no programa GRASS GIS, sem perda de informação e qualidade.

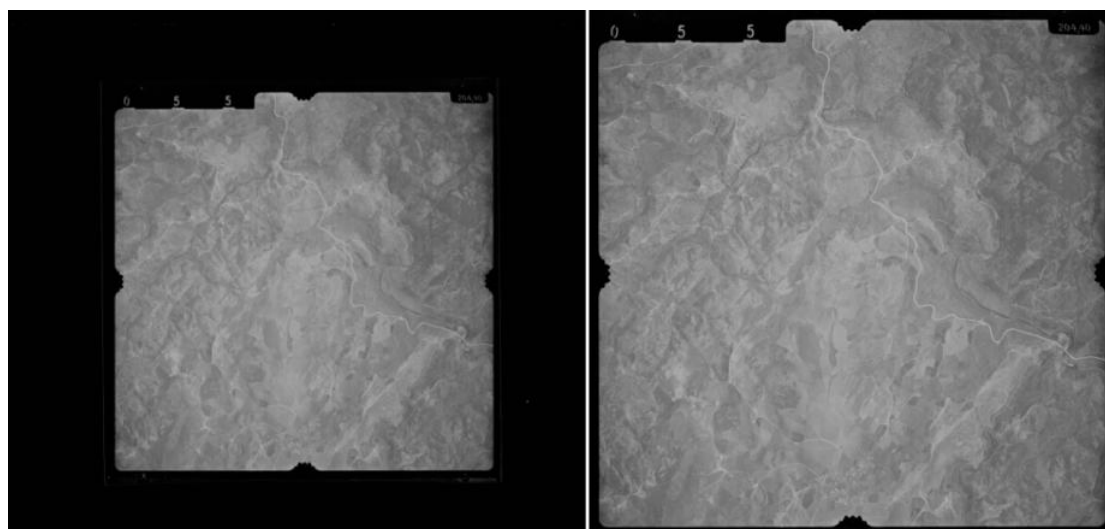


Figura 19 – Negativo digitalizado, antes (à esquerda) e após (à direita) o corte da área em excesso.

#### 4.4. Georreferenciação das folhas

A georreferenciação é o processo de escalamento, rotação, translação e remoção da distorção de uma imagem para esta alcançar um determinado tamanho e posição. A digitalização de cartas origina imagens em formato *raster*<sup>3</sup> que não contêm informação de referência espacial, seja incorporada no ficheiro ou num ficheiro separado. A georreferenciação permite que os dados sejam visualizados, consultados e analisados com outros dados geográficos [ArcGIS Resource Center, 2012].

---

<sup>3</sup> Uma imagem em formato *raster* é composta por uma grelha regular de células (pixéis) que armazenam informação. Cada célula contém apenas um valor que representa a condição ou atributo desse ponto na superfície [Campos, 2009].

Esta fase do trabalho foi realizada na aplicação ArcMap do programa ArcGIS. Para poder realizar o enquadramento digital das fotografias sobre as folhas e também para posicionar as folhas entre si, foi necessário georreferenciá-las. Primeiro, determinaram-se as coordenadas (M, P) dos quatro cantos da quadrícula de cada uma das folhas, que se encontram registadas na Tabela 3. Estes valores, atribuídos aos cantos correspondentes como pontos de controlo, são os parâmetros de uma transformação afim (polinomial de 1ª ordem) que irá converter as linhas e colunas do *raster* em coordenadas cartográficas.

No final, obteve-se um EMQ da transformação inferior ao erro de graficismo (menor comprimento gráfico que se pode representar num desenho), que a experiência demonstrou ser de 1/5 de milímetro (0.2 mm) [IGeoE, 2008]. Fixando este limite prático, para uma escala de 1:25000, o erro de graficismo é de 5 m.

Tabela 3 – Coordenadas dos quatro cantos das folhas utilizadas. A – canto superior esquerdo; B – canto superior direito; C – canto inferior esquerdo; D – canto inferior direito.

Folha	Coordenadas (Hayford-Gauss/Datum Lisboa Militar)								EMQ total (m)	
	A		B		C		D		Edição	
	M	P	M	P	M	P	M	P	1ª	2ª
32	216 000	540 000	232 000	540 000	216 000	530 000	232 000	530 000	2.67115	1.61078
33	232 000	540 000	248 000	540 000	232 000	530 000	248 000	530 000	2.11973	2.00461
45	216 000	530 000	232 000	530 000	216 000	520 000	232 000	520 000	1.61078	2.32461

#### 4.5. Determinação de informação importante relativa à cobertura

Pretende-se agora obter alguma informação útil relativa à cobertura fotográfica, como a escala média, a altura média do voo, a dimensão do pixel no terreno (GSD) e o centro de projeção das fotografias. Esta informação foi determinada na aplicação ArcMap e todos os valores são aproximados.

Para cada fiada, foram selecionadas 3 ou 4 fotografias (dependendo do tamanho da fiada), nas quais foi feita a medição de uma distância entre dois pontos bem identificáveis e, essa mesma distância, foi também medida sobre a folha (terreno). O quociente entre a distância na imagem e no terreno dá-nos a escala da fotografia. Fazendo a média das escalas obtidas com as fotografias da mesma fiada, obtém-se a escala média da fiada, que multiplicada pela distância focal da câmara, resulta na altura média do voo para essa fiada.

Fazendo a média da escala média e das alturas médias de voo para todas as fiadas da mesma folha, obtém-se a escala média e a altura média de voo para essa folha, e realizando o mesmo processo para todas as folhas, obtém-se a escala média e altura média de voo de toda a cobertura.

Sabendo que cada fotografia mede 18 cm e multiplicando este valor pelo seu módulo da escala média, obtém-se o comprimento do lado, a área e o perímetro do polígono que define a fotografia. Repetindo o processo para cada fiada e para cada folha, obtém-se os valores médios para toda a cobertura.

Por fim, para determinar a dimensão do pixel das fotografias no terreno, divide-se o comprimento do lado do polígono pelo número de pixels de uma coluna ou linha (pois a imagem é quadrada) da imagem. Toda a informação anterior pode ser consultada no Anexo B.

O ArcMap permite visualizar o ponto central de uma imagem e esse ponto é depois identificado na respetiva folha que, estando georreferenciada, basta colocar o cursor no local e instantaneamente aparecem as coordenadas cartográficas do mesmo, obtendo-se assim as coordenadas aproximadas dos centros de projeção de cada fotografia. Esta informação pode ser consultada no Anexo C.

#### **4.6. Enquadramento digital das fotografias sobre as folhas**

O enquadramento digital das fotografias sobre as folhas permitirá obter uma perceção visual de como a cobertura fotográfica se distribui sobre terreno, o que será útil na futura escolha da localização dos PFs.

##### **4.6.1. Enquadramento por limites**

Os limites das fotografias foram representados no ArcMap através da criação de polígonos quadrados com as dimensões destas e centrados nas coordenadas aproximadas do seu centro projeção, determinadas anteriormente.

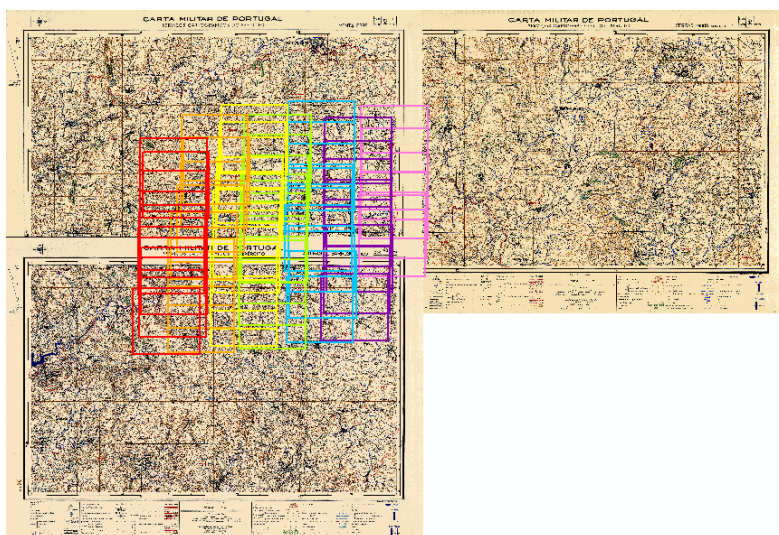


Figura 20 – Enquadramento dos limites das fotografias sobre as folhas da cartografia antiga georreferenciadas.

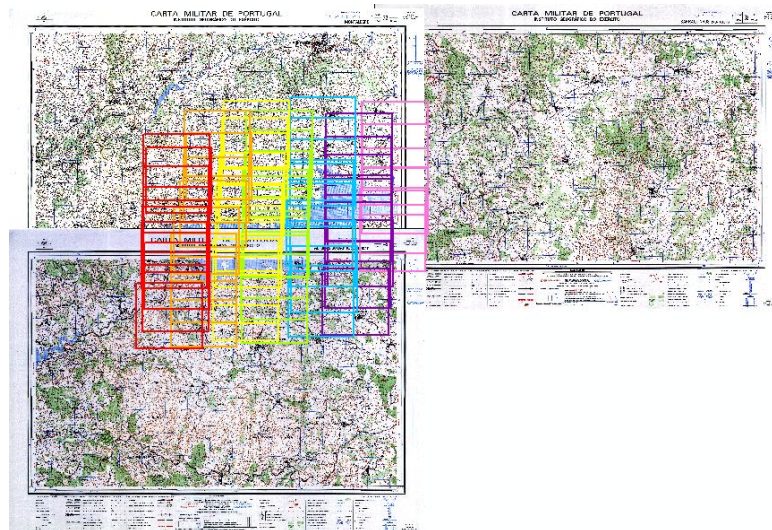


Figura 21 – Enquadramento dos limites das fotografias sobre as folhas da cartografia recente georreferenciadas.

#### 4.6.2. Enquadramento por ficheiro TFW

A criação de ficheiros TFW permite enquadrar as fotografias sobre as folhas no ArcMap, uma vez que estas passam a ter informação geográfica e são redimensionadas em relação ao terreno. Um ficheiro TFW contém informação de referência espacial de um ficheiro TIFF (uma fotografia) guardada num ficheiro ASCII. Tem o mesmo nome do ficheiro TIFF ao qual está referenciado e deve ser colocado na mesma diretoria do ficheiro origem para fazer efeito. Tem uma estrutura simples, sendo que o ficheiro ASCII contém 6 linhas onde [Micrograf, 2012]:

- a 1ª linha é a dimensão da resolução em X de um pixel nas unidades do mapa e na direção X;
- a 2ª linha é o valor da translação;
- a 3ª linha é o valor da rotação;
- a 4ª linha é a dimensão da resolução em Y de um pixel nas unidades do mapa e na direção Y;
- a 5ª linha é a coordenada do terreno em X do pixel (1, 1);
- a 6ª linha é a coordenada do terreno em Y do pixel (1, 1).

Os ficheiros TFW foram criados num programa desenvolvido no IGeoE, no qual foi necessário inserir a informação relativa às coordenadas do centro de projeção de cada imagem, à dimensão do pixel no terreno e às dimensões das imagens (largura×altura).



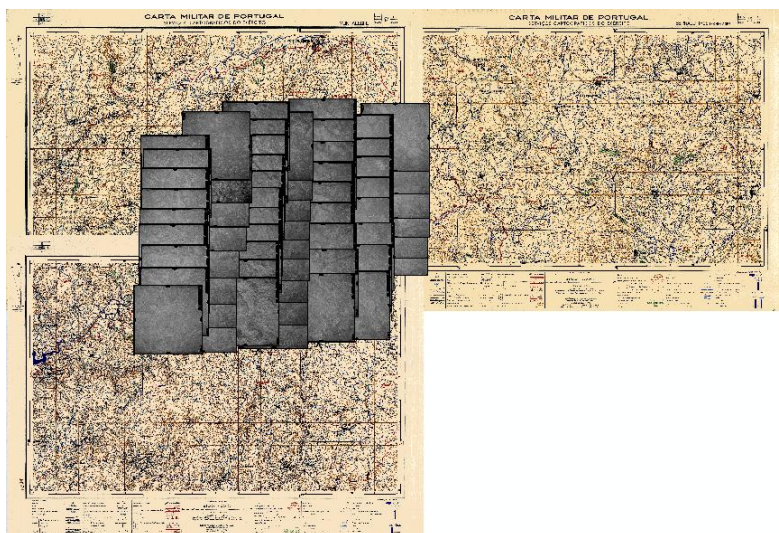


Figura 22 - Enquadramentos dos ficheiros TFW sobre as folhas da cartografia antiga.

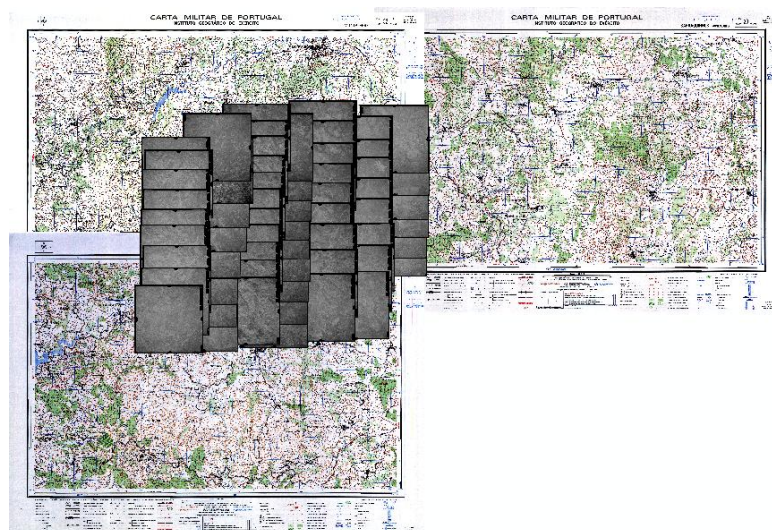


Figura 23 - Enquadramentos dos ficheiros TFW sobre as folhas da cartografia recente.

#### 4.7. Determinação do apoio fotogramétrico

O planeamento do apoio fotogramétrico é uma fase fundamental deste processo. Os pontos de apoio são pontos conspícuos, ou seja, bem diferenciáveis do meio envolvente e bem identificáveis em mais do que uma fotografia. Servem para realizar a concatenação de fotografias ou modelos (pares de fotografias) e a ligação da cobertura fotográfica ao terreno fotografado através da orientação espacial de cada fotografia, modelo ou toda a cobertura. Estes pontos podem ser fotogramétricos, de passagem ou de ligação [Redweik, 2010].

Os pontos fotogramétricos podem ser pré-sinalizados ou naturais. Os primeiros constituem marcas de tinta ou telas plásticas fixas ao chão de grandes dimensões, bem visíveis nas fotografias aéreas, que são colocadas no terreno antes do voo. O centro destas marcas será posteriormente coordenado por um topógrafo

no terreno. Os segundos são materializados por objetos existentes na paisagem que, embora sendo uma opção mais económica, pode ter menos precisão se os pontos escolhidos não forem adequados [Redweik, 2010].

Os PFs têm as suas coordenadas objeto, cujo conhecimento é essencial na altura da restituição, determinadas diretamente no campo por métodos topográficos. Já as coordenadas objeto dos pontos de passagem, que ligam os modelos numa fiada, e dos pontos de ligação, que unem fiadas adjacentes, são determinadas indiretamente em gabinete, por triangulação aérea, sendo medidas nas fotografias e não no terreno [Redweik, 2010].

O número mínimo teórico de pontos de apoio necessários para orientar espacialmente uma fotografia ou um modelo estereoscópico é de 3 pontos não colineares. Para evitar grandes zonas de extrapolação, os pontos devem localizar-se de modo a formarem um triângulo de maior área possível dentro da fotografia ou do modelo. Se a cobertura fotográfica for constituída por um bloco de fiadas com as sobreposições habituais de 60% e 30%, a distribuição dos pontos de apoio deve permitir que cada ponto apoie mais do que uma fotografia em simultâneo, garantindo a ligação de modelos e fiadas por pontos homólogos e facilitando a estabilidade da geometria do bloco, o que melhora a precisão das orientações calculadas [Redweik, 2010].

#### **4.7.1. Escolha da localização dos PFs**

Na escolha da localização dos pontos fotogramétricos, para além de ser necessário ter em consideração certas características como bons acessos, objetos angulares, contraste entre materiais, etc., os pontos também devem ser visíveis no maior número possível de fotografias e estar distribuídos uniformemente por todo o bloco, de forma a garantir a cobertura total da área. Assim, os PFS são do tipo natural e foram escolhidos com base no enquadramento das fotografias sobre as cartas e com auxílio da aplicação Bing Maps disponível no ArcMap, que permitiu confirmar a existência dos pontos no terreno, através de imagens aéreas recentes.

Foi cumprida a teoria da distribuição convencional de PFs num bloco de forma retangular, que consiste em dois PFs (ou um PF duplo) em cada canto, um PF de três em três modelos ao longo da primeira e da última fiadas e um PF de três em três modelos em todas as zonas de sobreposição lateral [Redweik, 2010].

As fotografias onde aparece cada PF podem ser consultadas da tabela do Anexo D.

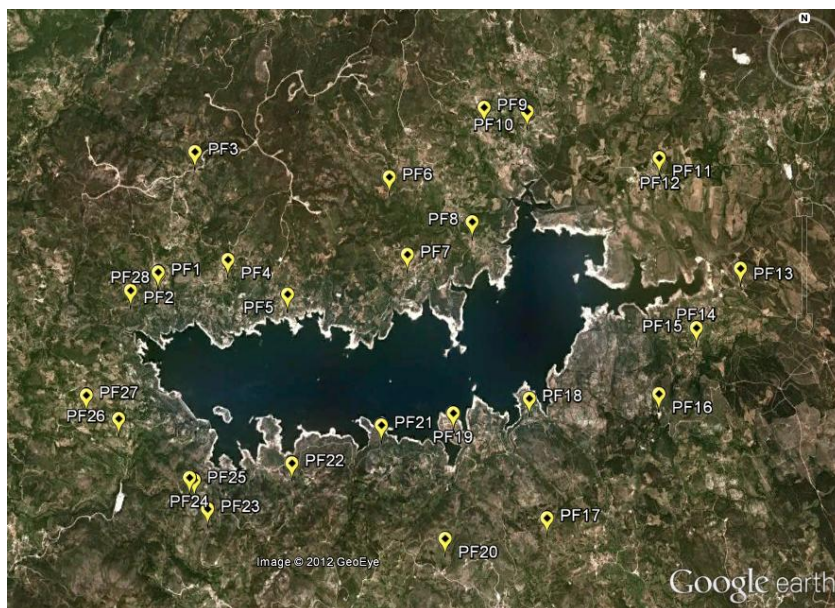


Figura 24 – Localização dos PFs na zona de estudo (imagem do Google Earth).

#### **4.7.2. Elaboração das fichas provisórias dos PFs**

As fichas provisórias dos pontos fotogramétricos contêm toda a informação necessária à identificação e coordenação dos pontos no local. Estas incluem o nome do PF, o nome da localidade ou direção a partir de uma localidade próxima, a localização mais específica e umas coordenadas aproximadas. Estas coordenadas foram retiradas do Google Earth e inseridas num recetor GPS de mão, utilizado como auxiliar no terreno para localizar os pontos.

#### **4.8. Coordenação dos PFs no terreno**

A coordenação dos PFs no terreno teve como objetivo a obtenção do apoio fotogramétrico, ou seja, a recolha de coordenadas no terreno dos pontos escolhidos previamente em gabinete, tendo em vista a triangulação do conjunto de fotografias aéreas sobre a barragem. Esta coordenação foi realizada no sistema Hayford-Gauss/ETRS89 (PT-TM06) com técnicas GNSS.

O ETRS89 é um sistema global de referência recomendado pela EUREF e estabelecido através de técnicas espaciais de observação, coincidente com o ITRS à época de 1989.0 e fixado à parte estável da placa euro-asiática. O seu estabelecimento em Portugal foi efetuado com base em campanhas internacionais, realizadas em 1989, 1995 e 1997, que tiveram como objetivo ligar a rede portuguesa à europeia. Nos anos seguintes, toda a rede geodésica de 1ª e 2ª ordens do continente foi observada com técnicas GPS e o seu ajustamento foi realizado fixando as coordenadas dos pontos estacionados nas campanhas internacionais anteriores [IGP, 2012a]. Em 2006, o IGP adotou o ETRS89 como o sistema de referência geodésico nacional,

ficando conhecido como PT-TM06. Tem como elipsoide de referência o GRS80 e utiliza a projeção de Gauss-Krüger [Catalão, 2007].

O posicionamento com técnicas GNSS baseia-se na determinação da distância instantânea entre uma ou mais estações terrestres e vários satélites, a partir das observações do código ou da fase de batimento da onda portadora [Casaca, 2005]. Pode ser realizado através dos métodos de observação absoluto ou diferencial (relativo) que, por sua vez, podem ser realizados em modo estático ou cinemático.

O posicionamento absoluto utiliza geralmente o código da onda portadora como observável principal e é realizado com um só recetor. O posicionamento diferencial, tendo a fase como observável principal, utiliza dois recetores: um de referência (recetor base), que é estacionado num ponto cujas coordenadas são previamente conhecidas, e um móvel, que é sucessivamente estacionado sobre os pontos cujas coordenadas se pretende determinar. Este tipo de posicionamento permite medir o vetor diferença entre a estação de referência e o recetor móvel com grande precisão. A determinação das correções diferenciais a partir das observações realizadas na estação de referência, cuja posição é conhecida, permite determinar os seus erros e usá-los para corrigir as posições das outras estações [Casaca *et al.*, 2005; Mendes, 2012].

No modo estático, os recetores são estacionados durante um determinado intervalo de tempo, que pode atingir várias horas, e as observações são integradas ao longo desse intervalo. No modo cinemático, o recetor encontra-se em movimento e as suas posições são determinadas com uma cadência predefinida. Nestas condições, o modo estático produz observações de melhor qualidade que o cinemático [Casaca, 2005].

As correções às observações, no posicionamento diferencial, podem realizar-se com pós-processamento ou em tempo real. Os métodos estático, rápido-estático, para-avança, cinemático e pseudo-cinemático necessitam de pós-processamento, enquanto o método RTK é realizado em tempo real. Neste trabalho foram utilizados os métodos rápido-estático e RTK.

#### **4.8.1. Método rápido-estático**

O posicionamento rápido-estático (ou estático-rápido) é uma técnica diferencial com pós-processamento. Corresponde a uma sessão estática de curta duração onde um recetor para numa determinada estação durante 5 a 10 minutos, cuja localização é referenciada a um recetor que opera continuamente, a uma distância que pode ir até cerca de 20 km. É bastante preciso para bases de comprimento até 20 km e muito mais rápido que o posicionamento estático, nunca inferior a uma hora para esta distância [Mendes, 2012].

#### **4.8.2. Método RTK**

O posicionamento RTK é uma técnica diferencial e cinemática relativamente recente e bastante utilizada em Topografia, que permite alcançar precisões centimétricas em tempo real, pois o efeito dos erros atmosféricos (ionosfera e atmosfera neutra) e orbitais é reduzido. Este método envolve uma estação de referência, localizada

num ponto de coordenadas conhecidas e uma ou várias estações móveis. A estação de referência transmite, praticamente em tempo-real, medições brutas ou correções às observações para o recetor móvel, utilizando um determinado tipo de ligação para a comunicação adequada dos dados. Esta ligação pode ser via rádio (VHF, UHF, FM, etc.), telemóvel (GSM, GPRS), satélite ou *Internet* [Mendes, 2012].

A utilização do RTK depende do alcance do modo de transmissão de dados utilizado e do facto dos erros atmosféricos e orbitais sofrerem descorrelação espacial, ou seja, com o aumento da distância ao recetor base, deixam de poder ser eliminados com a diferenciação das observações. Assim, este método não deve ser utilizado para distâncias que excedam os 20 km, de modo a permitir uma resolução de ambiguidades rápida e fiável [Mendes, 2012].

#### **4.8.3. Rede SERVIR**

A rede SERVIR (Sistema de Estações de Referência GNSS VIRTuais) foi o sistema utilizado neste trabalho para calcular e fornecer as correções diferenciais ao posicionamento determinado pelo recetor GNSS. Esta rede foi concebida e desenvolvida pelo IGeoE para apoiar os trabalhos de produção cartográfica, em particular a aquisição de dados. É constituída por 27 estações de referência, sendo que a que está colocada no IGeoE tem a função de monitorizar o sistema. Todas as estações de referência GNSS estão instaladas em unidades militares e universidades, o que, para além de também reduzir custos, aumenta a segurança física das mesmas. Assim, é possível obter dados para posicionamento em Portugal em modo RTK, DGPS e pós-processamento, através de uma ligação ao centro de cálculo (via *Internet*, GSM, GPRS ou comunicação rádio) que, após processar as observações GNSS, disponibiliza as correções diferenciais aplicáveis à área pretendida [IGeoE, 2012b].

As correções diferenciais para um local são determinadas a partir dos erros obtidos nas estações envolvidas, o que permite calcular as correções de posicionamento do recetor GNSS com precisão centimétrica. Nos locais com cobertura GSM e com um aparelho apropriado é possível receber as correções praticamente em tempo real, sendo esse o princípio de funcionamento do método RTK. O referencial implementado atualmente na rede SERVIR é o ITRF 2005 e as altitudes fornecidas são elipsoidais [IGeoE, 2012b].



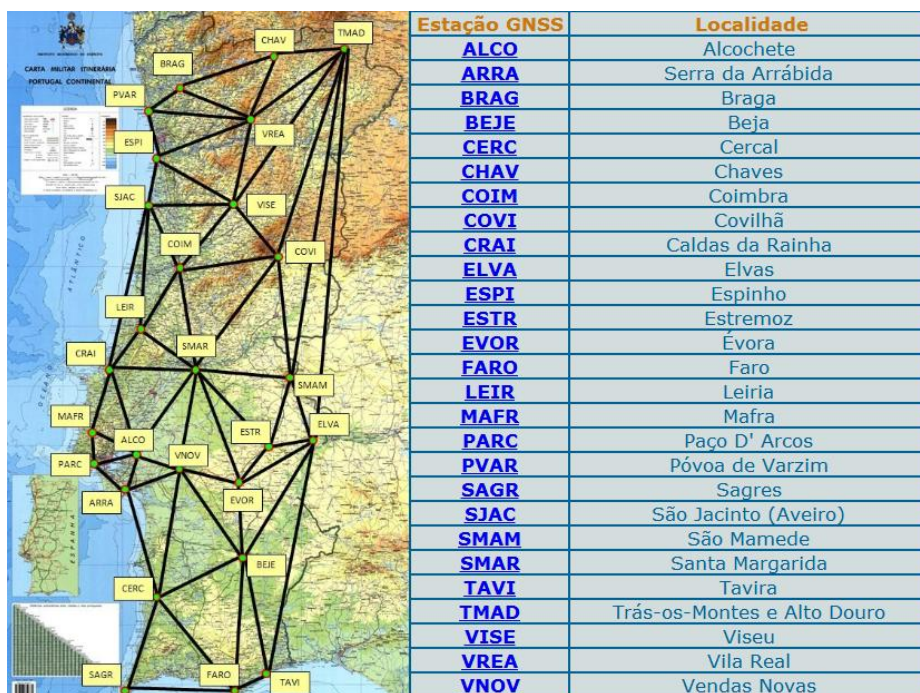


Figura 25 – Estações de referência GNSS da rede SERVIR [IGeoE, 2012b].

#### 4.8.4. Campanha de coordenação dos PFs

A campanha de coordenação, decorrida nos dias 8, 9, 10 e 11 de março de 2012, foi feita com o colega Mário Filipe, que realizava em simultâneo um trabalho semelhante, na barragem vizinha da Venda Nova. A campanha consistiu na coordenação de um total de 43 pontos, sendo 28 na zona da barragem do Alto Rabagão e os restantes 15 na zona da barragem da Venda Nova.

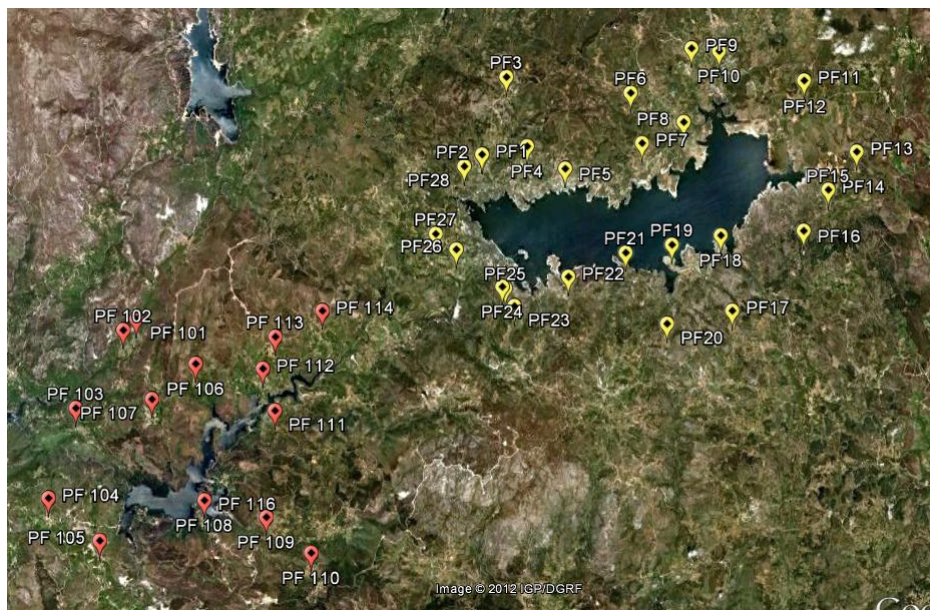


Figura 26 – Localização dos PFs (amarelo – Alto Rabagão, vermelho – Venda Nova) (imagem do Google Earth).

Os pontos foram coordenados no sistema de referência ETRS89. Apesar do aparelho GNSS receber os dados através da rede SERVIR, isto é, em ITRF2005, este faz a conversão dos mesmos para ETRS89 no momento da coordenação. Para tal foi necessário definir e introduzir previamente os parâmetros de transformação entre os dois sistemas no aparelho.

O método de posicionamento RTK foi utilizado sempre que foi possível ter acesso à rede telefónica móvel, que permite a ligação à *Internet*, necessária para efetuar a ligação ao servidor no IGeoE que envia as correções diferenciais através da rede SERVIR. Na maior parte dos locais, como não foi possível aceder à rede telefónica, os pontos tiveram de ser coordenados em modo rápido-estático, fixando o aparelho GNSS no ponto durante aproximadamente 10 minutos.

**Dia 1** (8 de março) – Chegada à aldeia de Penedones (localização do alojamento)

Neste dia não foram coordenados PFs, foi apenas testado o equipamento e a ligação à rede SERVIR.

**Dia 2** (9 de março) – Zonas norte e este da barragem do Alto Rabagão

No primeiro dia de campanha foram coordenados 10 pontos. O método de posicionamento RTK foi utilizado uma única vez, visto que a cobertura de rede telefónica móvel era escassa nas localidades onde se encontravam os PFs. Assim, os restantes pontos foram coordenados no modo rápido-estático.

A principal dificuldade neste dia foi precisamente a ligação à *Internet* através da rede móvel, cujas várias tentativas atrasaram os trabalhos, com a coordenação de um número de PFs inferior ao previsto (cerca de 15 por dia). O PF3 (na sua localização original) não foi coordenado, pois encontrava-se num local de acesso interdito. O percurso teve início no PF6 e terminou no PF10.

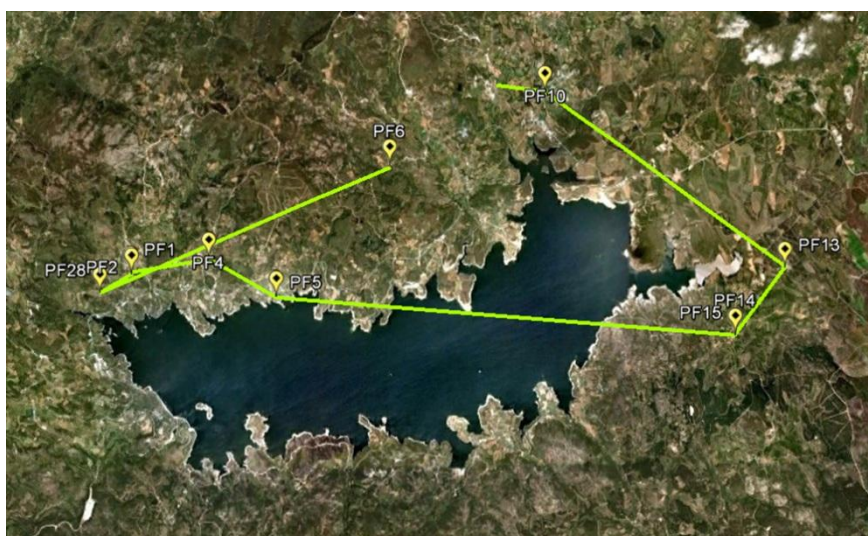


Figura 27 – Percurso efetuado no 2º dia da campanha (início – PF6, fim – PF10) (imagem do Google Earth).



**Dia 3** (10 de março) – Barragem da Venda Nova, zonas oeste e norte da barragem do Alto Rabagão

Após a experiência do dia anterior, foi adotado um novo sistema de trabalho que consistia em, chegando ao local do PF, verificar rapidamente se o aparelho conseguia efetuar a ligação à *Internet* da rede móvel e, caso não conseguisse, o PF seria imediatamente coordenado em modo rápido-estático. Assim, foi possível coordenar neste dia 18 PFs (15 pertencentes a todo o apoio da barragem da Venda Nova e 3 pertencentes ao apoio da barragem do Alto Rabagão), sem grandes dificuldades a apontar. O método RTK foi apenas utilizado em 2 pontos do conjunto total. O percurso teve início do PF114 e terminou no PF7.

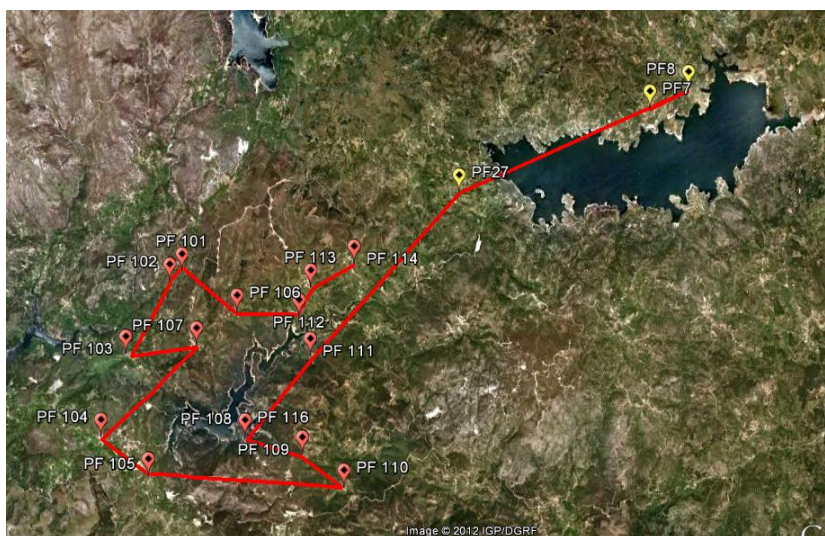


Figura 28 – Percurso efetuado no 3º dia de campanha (início – PF114, fim – PF7) (imagem do Google Earth).

**Dia 4** (11 de março) – Conclusão das zonas norte, este e oeste e zona sul da barragem do Alto Rabagão

Neste dia foram coordenados 13 PFs, 5 dos quais com o método de posicionamento RTK, deixando-nos um saldo positivo em termos de tempo para a realização dos 8 restantes e possibilitando o regresso a casa ainda durante o dia. Não foi possível coordenar o PF22 pois o ponto não foi encontrado, tendo sido coordenado um ponto substituto numa casa antiga, nas proximidades. No entanto, este novo ponto não pôde ser utilizado por não existir nas fotografias antigas (apesar da casa ter um aspeto bastante antigo, ainda não existia na época do voo fotográfico), facto que só foi confirmado mais tarde, na posse destas. O PF17 também não foi coordenado por se encontrar numa zona interdita. Foi escolhida uma nova localização para o PF3 e este foi finalmente coordenado. O percurso teve início no PF3 e terminou no PF12.



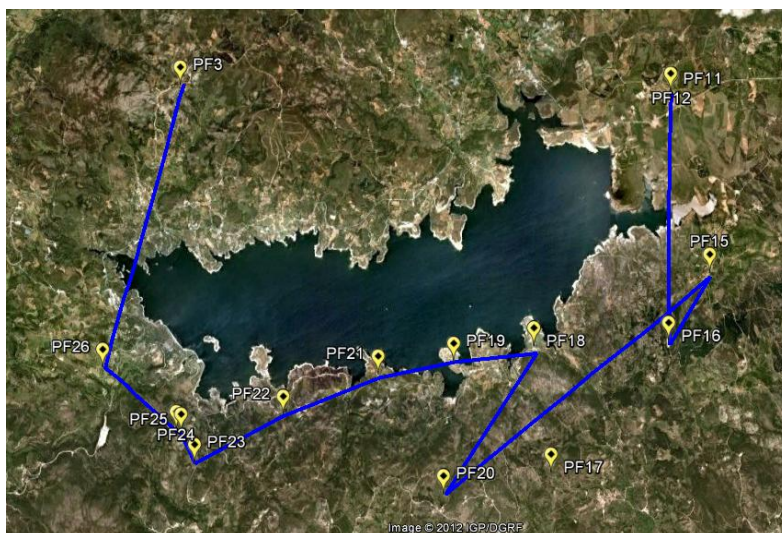


Figura 29 – Percurso efetuado no 4º dia de campanha (início – PF3, fim – PF12) (imagem do Google Earth).

#### 4.9. Pós-processamento dos dados

Como dito anteriormente, os pontos fotogramétricos coordenados pelo método rápido-estático requerem que seja efetuado o pós-processamento das suas medições. Esta tarefa consiste no ajustamento das coordenadas obtidas em relação a uma estação de referência próxima, com coordenadas conhecidas. Neste caso, a estação mais próxima estava localizada em Chaves, com um recetor Trimble NetR5 instalado no Regimento de Infantaria nº 19.

A partir do *Web Server* do Sistema de Estações de Referência da rede SERVIR do IGeoE foram descarregados os ficheiros de observação (formato RINEX) correspondentes às horas onde se inseriam os intervalos de tempo durante os quais foram coordenados os pontos. Por exemplo, o PF6 foi coordenado no dia 9 de março de 2012 e teve um período de observação de 10 minutos entre as 17h33 e as 17h43. Assim, foi necessário adquirir o ficheiro de observação correspondente às medições da estação de Chaves para esse dia, entre as 17h00 e as 18h00.

No programa LGO, criou-se um novo projeto, definindo o sistema de projeção (PT-TM06), o sistema de coordenadas (ETRS89), o modelo do geoide para Portugal continental (GeodPT08<sup>4</sup>) e os parâmetros da antena utilizada. De seguida, foram importados os ficheiros das medições dos PFs, definidos como estações móveis, e os ficheiros de observação da estação de Chaves, definida como estação de referência. Os dados foram processados e ajustados e foi gerado automaticamente um relatório individual com a informação, coordenadas e respetiva precisão para cada ponto. O relatório do PF1 pode ser consultado no Anexo E, sendo que os relatórios

---

<sup>4</sup> O GeodPT08 é um modelo local do geoide para Portugal Continental elaborado pela FCUL em parceria com o IGP. Permite a melhoria da precisão na determinação das altitudes ortométricas em Portugal Continental em relação a outros modelos globais, nomeadamente no posicionamento em tempo real com sistemas GNSS [IGP, 2012b].

dos restantes pontos são semelhantes. Foi também gerado um ficheiro de texto com as coordenadas e respetiva precisão global para todos os pontos, que pode ser consultado no Anexo F.

A tabela com as coordenadas finais e respetiva precisão global de todos os pontos fotogramétricos pode ser consultada no Anexo G.

#### **4.10. Elaboração das fichas dos pontos fotogramétricos**

Com as coordenadas finais de todos os pontos fotogramétricos foi possível elaborar as suas fichas definitivas. Estas podem ser consultadas no Anexo L e contêm:

- nome e data de aquisição;
- coordenadas em ETRS89 (formato geodésico com altitude elipsoidal);
- localização na folha;
- localização em duas fotografias atuais;
- localização numa fotografia antiga;
- fotografia da coordenação do PF no local.

#### **4.11. Triangulação automática no ISAT**

A utilização do programa ISAT exige que sejam cumpridas várias condições. As fotografias (em formato digital) têm de ser todas em escala de cinza ou todas a cores, todas as imagens devem ter a mesma resolução (dimensão do pixel), cada ficheiro de imagem deve conter um conjunto de *overviews*<sup>5</sup> e o projeto deve conter parâmetros da orientação externa, que podem ser importados ou um conjunto de dados aproximados que serão gerados no próprio programa através definição das fiadas [Intergraph, 2008a].

##### **4.11.1. Criação do projeto**

A criação do projeto no ISAT inclui a definição do tipo de projeto (fotografia aérea), das suas unidades lineares (metro) e angulares (grau), do sistema de coordenadas (ETRS89), do tipo de ficheiro (ASCII), dos parâmetros relativos à altura média de voo (3304 m), da cota média do terreno (921 m) e, por fim, das tolerâncias atribuídas às orientações e à triangulação (Figura 30). Para os restantes parâmetros foram mantidos os valores predefinidos.

---

<sup>5</sup> Uma *overview* é uma cópia da imagem original de tamanho maior mas numa escala menor, o que torna a sua exibição tanto mais rápida quantas mais *overviews* tiver. As *overviews* foram criadas previamente numa aplicação da Intergraph fornecida pelo IGeoE.

Acceptable IO Limits		Acceptable RO Limits	
Max Sigma:	20 (um)	Max Sigma:	20 (um)
Max Residual:	20 (um)	Max Y-Parallax:	15 (um)
Acceptable AO/Bundle Adjustment Limits			
Max Sigma:	20 (um)		
	X	Y	Z
Max RMS:	0.5	0.5	1 (m)
Max Residual:	0.5	0.5	0.5 (m)

Figura 30 – Tolerâncias atribuídas às orientações e à triangulação.

#### 4.11.2. Definição dos dados da câmara

Nesta fase, identificou-se a câmara (RMK S 1818) através da distância focal (204.4 mm), das coordenadas dos pontos PPA e PPS (que na falta de certificado de calibração foram consideradas iguais a zero), das dimensões das fotografias (180×180 mm) e, por fim, das coordenadas fotográficas aproximadas das marcas fiduciais, determinadas através da medição da distância entre marcas fiduciais opostas (174 mm) sobre um negativo (Figura 31).

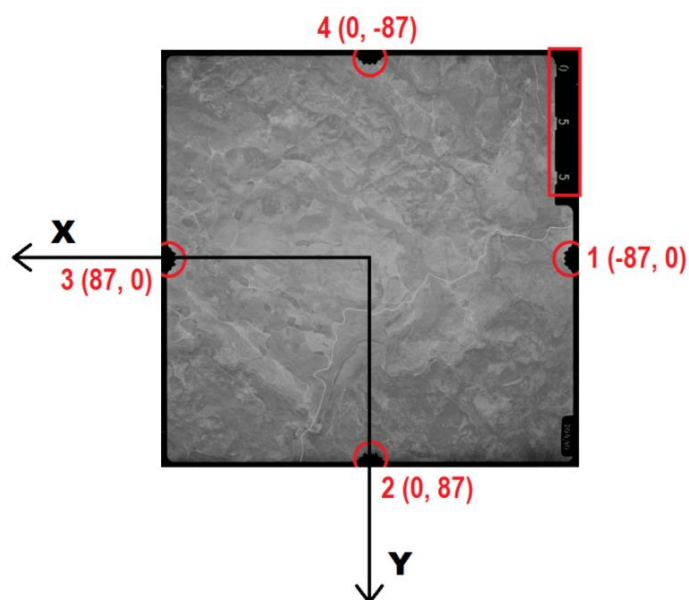


Figura 31 – Coordenadas fotográficas das marcas fiduciais das fotografias.

#### 4.11.3. Criação das fiadas

Cada fiada é definida pelo seu nome, nome e número das fotografias que a compõem, orientação (90° ou 270°, consoante o sentido norte ou sul da fiada) e geometria (vertical). Com a definição da primeira e última fotografias de cada fiada, obteve-se ainda os valores do azimute e de sobreposição longitudinal (Tabela 4). A orientação externa das fotografias ficou assim determinada.

Tabela 4 - Azimute e sobreposições longitudinais das fiadas.

Folha	Fiada	Azimute (°)	Sobreposição longitudinal (%)
32 / 45	D	2.76	71.68
	E	-175.44	62.70
	F	3.53	73.47
	G	-178.23	68.23
	H	0.63	66.99
	I	1.17	66.09
33	A	-178.86	68.57

#### 4.11.4. Introdução dos pontos de controlo

Os pontos fotogramétricos, anteriormente coordenados no terreno, foram adicionados ao projeto como pontos de controlo, após a transformação das suas coordenadas para formato retangular, com altitude ortométrica, no programa TransCoord Pro do IGP. Este programa utiliza o GeodPT08 como modelo do geoide para Portugal Continental no cálculo das altitudes ortométricas. Os resultados desta transformação encontram-se no Anexo H.

#### 4.11.5. Introdução das fotografias, criação dos modelos e definição do bloco

Foram adicionadas as 60 fotografias ao projeto e criados 53 modelos, sendo que cada modelo é composto por duas fotografias consecutivas da mesma fiada. Todo o projeto foi definido como um só bloco.

#### 4.11.6. Execução da orientação interna

A orientação interna das fotografias é determinada por uma transformação afim, calculada automaticamente no ISAT e cujos parâmetros são as coordenadas das marcas fiduciais. Para tal, foi necessário identificá-las e medi-las em todas as fotografias. Assim, os PFs ficam colocados em localizações aproximadas, que serão depois ajustadas.

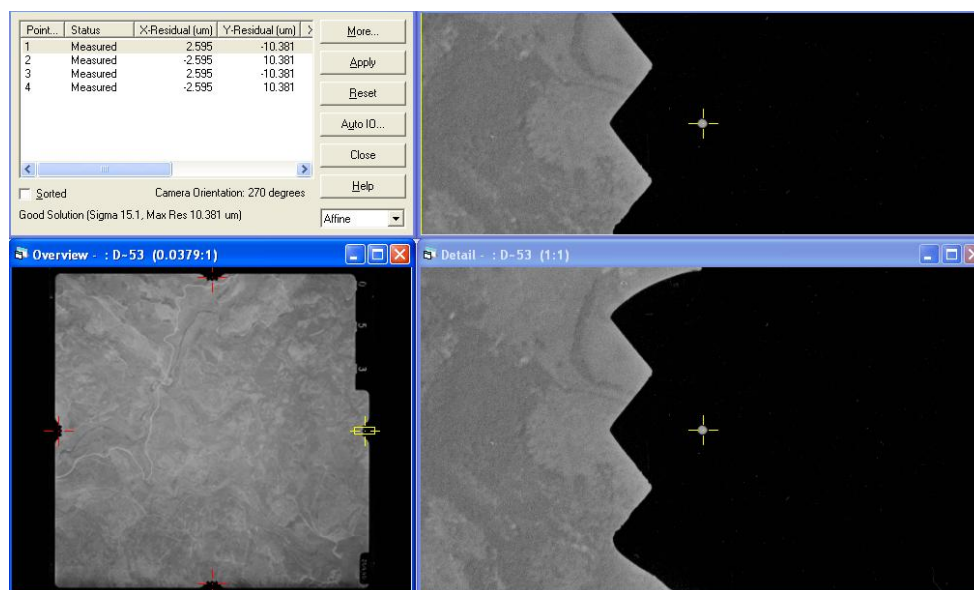


Figura 32 – Exemplo da medição de uma marca fiducial no ISAT para a determinação da orientação interna da fotografia.

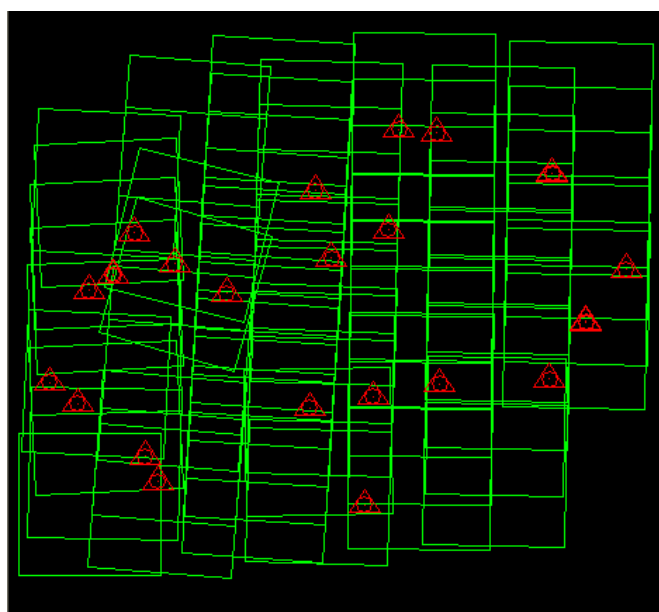


Figura 33 – Disposição das fiadas e localização aproximada dos PFs no ISAT.

#### 4.11.7. Extração automática dos pontos de passagem e de ligação

O ISAT efetua a extração automática dos pontos de ligação e de passagem, através de técnicas de correlação entre imagens, que identificam pontos homólogos. O programa recorre à correlação baseada em objetos (*feature-based matching*) ou à correlação pelos mínimos quadrados (*least-squares matching*).

A correlação baseada em objetos não necessita que as aproximações iniciais da localização dos pontos estejam muito próximas da realidade. Numa primeira fase do algoritmo, as imagens são

pesquisadas a fim de identificar quais as estruturas que se mantêm estáveis com a mudança de ponto de vista, ou seja, as que apresentam poucas alterações em imagens diferentes. O operador utilizado para realizar esta pesquisa é o operador de Förstner, que identifica pontos homólogos nas imagens através da análise da variação dos valores de cinzento na vizinhança dos pontos [Roque, 2009].

A correlação pelos mínimos quadrados é apenas utilizada para refinamento, uma vez que, para que o algoritmo funcione, as aproximações iniciais para a localização dos pontos têm de ter bastante exatidão. Este género de correlação é baseado na modelação da correspondência geométrica e radiométrica entre dois fragmentos das imagens. A modelação geométrica é definida através de uma transformação afim, consistindo na determinação de 6 parâmetros: duas translações e as quatro entradas da matriz de rotação multiplicadas por um ou dois fatores de escala. A modelação radiométrica é definida através de dois parâmetros, o contraste e o brilho [Roque, 2009].

No final deste processo, se existirem áreas fracas, ou seja, com poucos pontos encontrados, é necessário editá-las, colocando manualmente mais pontos. No entanto, neste projeto não surgiram quaisquer áreas fracas.

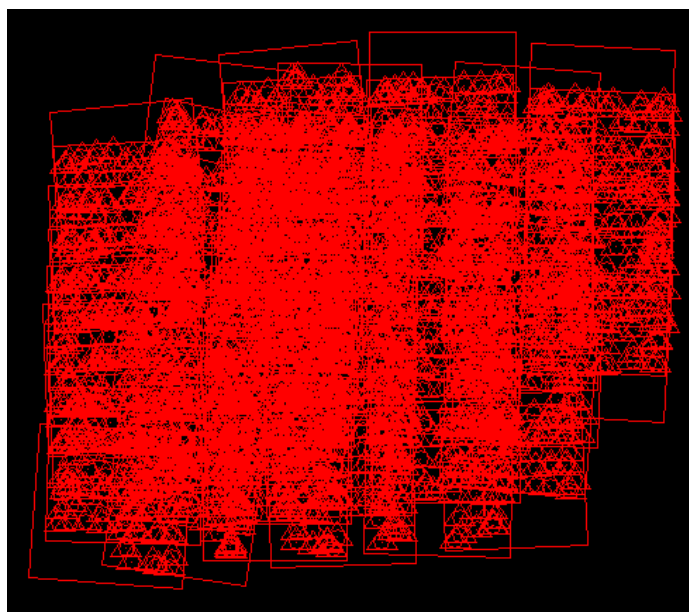


Figura 34 – Bloco com todos os pontos de passagem e de ligação determinados no ISAT.

#### **4.11.8. Triangulação aérea do bloco**

A triangulação aérea consiste na obtenção da orientação espacial da cobertura fotográfica de uma zona do terreno, através de um conjunto de operações matemáticas e estatísticas usando o mínimo de apoio geodésico possível. A triangulação pode ser feita em faixa ou bloco. Por sua vez, a primeira pode ser feita por ligação instrumental de modelos (em restituidores analógicos) ou por modelos independentes (em restituidores

mecânicos e analíticos) e a segunda pode ser feita por modelos independentes (em restituidores mecânicos com computador, analíticos e estações digitais) ou por feixes perspetivos (em restituidores analíticos e estações digitais) [Redweik, 2010]. O programa ISAT realiza uma triangulação aérea automática pelo método dos feixes perspetivos.

A triangulação em bloco consiste na determinação das coordenadas dos pontos de apoio em todos os modelos ou fotografias do bloco e na sua transformação em coordenadas objeto compensadas, tendo como premissa que cada ponto objeto tem apenas umas coordenadas objeto qualquer que seja o modelo ou fotografia onde apareça. A triangulação por feixes perspetivos permite reconstruir a geometria dos feixes de raios luminosos que formaram o espaço-imagem no momento da aquisição das fotografias [Coelho e Brito, 2007]. Este método não necessita da formação de modelos estereoscópicos e respetiva orientação relativa, pois com a informação da fotografia consegue chegar diretamente à informação no objeto. Considera os vários raios perspetivos, com origem num ponto objeto genérico, que passam por vários centros de projeção (polos de feixes perspetivos) e intersectam vários planos imagem nos pontos imagem respetivos em cada foto (no mínimo duas) onde o ponto objeto aparece [Redweik, 2010].

Para esta triangulação é necessário conhecer as coordenadas fotográficas de todos os pontos de apoio e PFs em todas as fotografias onde aparecem (no mínimo duas), as coordenadas objeto de todos os PFs do bloco e os parâmetros de orientação interna da(s) câmara(s) que obtiveram as fotografias do bloco [Redweik, 2010].

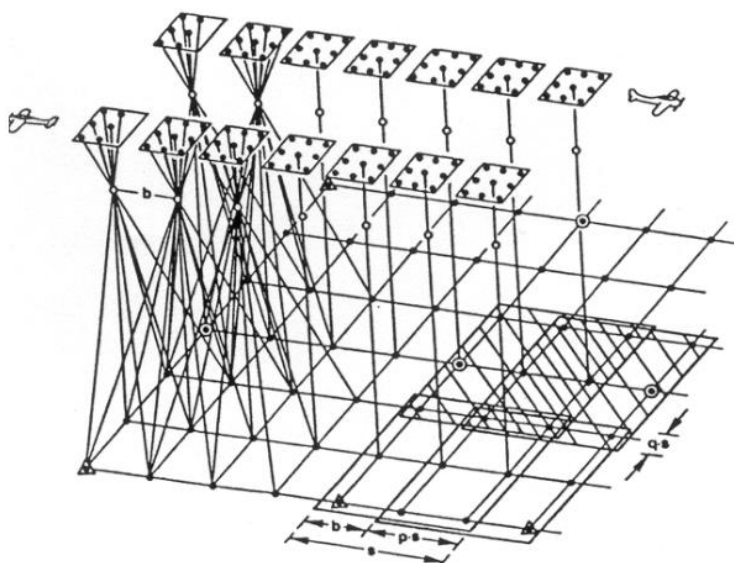


Figura 35 – Esquema da triangulação por feixes perspetivos [Redweik, 2010].

O modelo matemático utilizado no algoritmo desta triangulação é o da projeção central, constituído pelas equações de colinearidade entre ponto imagem, centro de projeção e ponto objeto. É necessário conhecer os valores iniciais para as incógnitas do sistema que são os parâmetros de orientação externa de todas as fotografias do bloco e as coordenadas objeto de todos os pontos medidos. Deste método resultam, para cada

foto do bloco, 6 parâmetros de orientação externa ( $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa$ ), para cada ponto medido, 3 coordenadas objeto e os parâmetros de calibração (parâmetros adicionais). Estes valores passam por um processo iterativo até que as discordâncias nos pontos homólogos das fotografias e nos PFs sejam mínimas (método dos mínimos quadrados). A condição de colinearidade pode ser expressa pelas seguintes equações [Redweik, 2010]:

$$x = x_0 - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y = y_0 - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

Equação 1 - Equações de colinearidade em ordem às coordenadas do ponto imagem.

$$X = X_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{11}(x - x_0) + r_{12}(y - y_0) - r_{13}c}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) - r_{33}c}$$

$$Y = Y_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{21}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) - r_{23}c}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) - r_{33}c}$$

Equação 2 - Equações de colinearidade em ordem às coordenadas do ponto objeto.

( $X_0, Y_0, Z_0$ ) – coordenadas objeto do centro de projeção no momento da exposição (parâmetros de orientação externa);

( $x_0, y_0, c$ ) – coordenadas fotográficas do centro de projeção da fotografia (parâmetros de orientação interna);

( $x, y$ ) – coordenadas do ponto no espaço-imagem;

( $X, Y, Z$ ) - coordenadas do ponto no espaço-objeto;

$r_{i,j}$  – elemento da matriz de rotação espacial entre os sistemas de coordenadas fotográficas e objeto .

#### 4.11.9. Correção da medição dos PFs

Após a realização da triangulação do bloco, foi necessário corrigir os pontos que apresentavam um EMQ superior à tolerância definida (20  $\mu$ m) e resíduos superiores à dimensão do pixel no terreno (0.34 m). Esta correção passou pela eliminação da paralaxe dos PFs e restantes pontos, em cada par estereoscópico.

Genericamente, a paralaxe é o deslocamento aparente de um objeto relativamente a um referencial, devido a uma mudança na posição do observador. Quando uma câmara aérea regista um par de imagens sucessivas, parcialmente sobrepostas (par estereoscópico), os pontos do terreno apresentam posições diferentes nas duas imagens do par devido à mudança da posição da câmara durante o voo. As diferenças entre as coordenadas fotográficas ( $x, y$ ) das duas posições de um mesmo ponto nas duas imagens de um par estereoscópico são designadas paralaxe longitudinal e paralaxe transversal do ponto, respetivamente. Dependem da variação das inclinações longitudinal e transversal entre as duas imagens do par estereoscópico.



A primeira depende também da altitude dos pontos, pelo que, pontos do terreno com maior altitude apresentam maior paralaxe longitudinal que os pontos mais baixos [Casaca *et al.*, 2005].



Figura 36 – A paralaxe num par estereoscópico [Lathrop, 2005].

Esta tarefa requer o uso do rato HHC e dos óculos para visão estereoscópica. Da qualidade destas correções depende o resultado da triangulação e consequentemente todos os trabalhos subsequentes da cadeia de produção. Em dois PFs não foi possível cumprir os valores definidos para as tolerâncias do EMQ e dos resíduos, devido a erros de leitura do aparelho. Como os pontos não se encontravam em zonas fundamentais do bloco, foram eliminados do projeto. No final, foram utilizados para a triangulação 24 PFs.



Figura 37 – Correção da paralaxe de um PF no ISAT.

Id: PF1		Go To		More...	
Point Id	RMS(x,y)	V(X,Y,Z)	Point Type	Rays	⬆
PF1	12.745	0.118	Control	3	
PF10	11.214	0.107	Control	2	
PF11	20.214	0.158	Control	6	
PF12	19.625	0.269	Control	6	
PF13	15.794	0.111	Control	3	
PF14	13.540	0.135	Control	2	
PF15	18.696	0.187	Control	2	
PF16	5.738	0.084	Control	3	
PF18	19.263	2.985	Control	2	
PF19	18.981	0.396	Control	6	
PF2	15.089	0.212	Control	4	
PF20	6.691	1.453	Control	2	
PF21	19.409	0.139	Control	6	
PF23	18.510	0.067	Control	5	
PF25	14.768	0.126	Control	6	
PF26	9.223	0.096	Control	4	
PF27	17.592	0.235	Control	3	
PF28	10.112	0.086	Control	3	
PF3	11.107	0.188	Control	7	
PF4	15.485	0.116	Control	4	
PF5	15.427	0.243	Control	6	
PF6	16.570	0.238	Control	7	
PF7	15.706	0.137	Control	3	
PF8	18.657	0.193	Control	5	
PF9	15.897	0.193	Control	5	⬇
<div><div><input checked="" type="checkbox"/> Sorted</div><div>Withhold</div><div>Reinstate</div><div>Delete</div></div>					
				Apply	
				Reset	
				Advanced...	
				Edit Control	
				Photos...	
				Extract Control	
				Close	
				Help	

Figura 38 – EMQ (RMS -  $\mu$ m) e resíduos (V - m) após eliminação da paralaxe dos PFs.

#### 4.13.10. Ajustamento final do bloco

Após a eliminação da paralaxe dos PFs, o programa efetua todo o processamento dos dados até agora introduzidos e transmite os resultados da triangulação automática do bloco. Um extrato do relatório final da triangulação aérea pode ser consultado no Anexo I. Um extrato do relatório final das orientações externas com os respetivos parâmetros ajustados para cada fotografia pode ser consultado no Anexo J.

#### 4.13.11. Densificação e *bulk orientation*

A densificação consiste em transformar todos os pontos de ligação e de passagem calculados durante o processo em pontos de controlo. Desta forma, passamos a ter uma quantidade de pontos de controlo muito superior distribuídos por todos os modelos do bloco. A partir dos parâmetros da orientação externa obtidos na triangulação e do ajustamento do bloco, a *bulk orientation* calcula as orientações em falta (interna, relativa e absoluta). Sem o passo anterior não seria possível concretizar este cálculo por não existirem, em cada modelo, pontos de controlo suficientes. O relatório final das orientações interna, relativa e absoluta pode ser consultado no Anexo K.

#### 4.13.12. Resultados finais

A triangulação aérea apresentou um sigma (desvio padrão) final de 4.8  $\mu\text{m}$  para 2578 pontos de controlo e todos os parâmetros apresentaram valores abaixo das tolerâncias definidas inicialmente.

Para a determinação das orientações externas foram encontrados 11342 pontos homólogos, dos quais 11221 foram medidos automaticamente e 121 manualmente. As medições de 64 pontos (14 automáticos e 50 manuais) foram consideradas erradas e os pontos foram automaticamente removidos. O facto de ter sido removida uma percentagem muito superior de pontos medidos manualmente deve-se, provavelmente, à falta de experiência do operador nesta tarefa. As orientações externas apresentaram um sigma final de 12.4  $\mu\text{m}$ , inferior à tolerância definida inicialmente de 20  $\mu\text{m}$ .

#### 4.14. Geração da amostra de pontos

Um modelo digital de elevação é uma representação em formato *raster* de uma superfície contínua, geralmente da topografia de um terreno. É normalmente utilizado como um termo genérico que inclui o modelo digital de terreno e o modelo digital de superfície. O primeiro descreve o relevo apenas ao nível do terreno e o segundo descreve a superfície incluindo todas as suas construções e vegetação. É uma função contínua que fornece um só valor de cota para cada ponto de coordenadas planimétricas [Redweik, 2011]. A precisão do modelo é determinada principalmente pela resolução, ou seja, a distância entre os pontos de amostra [ArcGIS Resource Center, 2012]



Figura 39 – Exemplo de um MDT (à esquerda) e de um MDS (à direita) de uma zona urbanizada [Redweik, 2011].

O programa ISAE gera pontos de um modelo digital de elevação a partir de imagens aéreas digitais ou de satélite. Como gera uma grande quantidade de pontos, tem uma precisão global muito elevada e distingue-se dos métodos convencionais precisamente por isso. Em vez de gerar pontos singulares de elevação com uma

grande precisão, fornece um número maior de pontos no terreno mas com uma precisão média, através da correlação entre pares estereoscópicos. Os pontos adquiridos são filtrados, criando um MDE muito preciso [Intergraph, 2008b].

O ISAE utiliza um modelo hierárquico de correlação automática de imagens em estrutura piramidal, para detetar pares de pontos homólogos, em que, para cada nível da pirâmide, é efetuada uma correlação entre pormenores radiométricos homólogos de cada imagem, com base no processo da geometria epipolar. Este processo baseia-se no modelo da perspetiva central: dadas duas imagens, o plano epipolar para um ponto (P) no espaço é definido à custa do plano que contém esse ponto e os dois centros de projeção ( $C_1$  e  $C_2$ ) das imagens. O plano intersesta as imagens segundo duas linhas retas, definidas como linhas epipolares [Sequeira, 2006]. A partir de um ponto numa das imagens e conhecendo a sua orientação relativa é possível calcular a linha epipolar da outra imagem, encontrando-se sobre esta a posição do ponto correspondente ao que se pretende da primeira imagem. Este método tem por detrás um processo de pesquisa e cálculo iterativo. Na imagem de referência define-se, em redor do pixel, uma vizinhança (template) constituída pela informação radiométrica dos pixéis constituintes. O template obtido vai percorrer toda a linha epipolar gerada na imagem de pesquisa, calculando em cada iteração um coeficiente de correlação. A posição onde o coeficiente de correlação for máximo corresponde às coordenadas pixel do ponto homólogo [Sequeira, 2006].

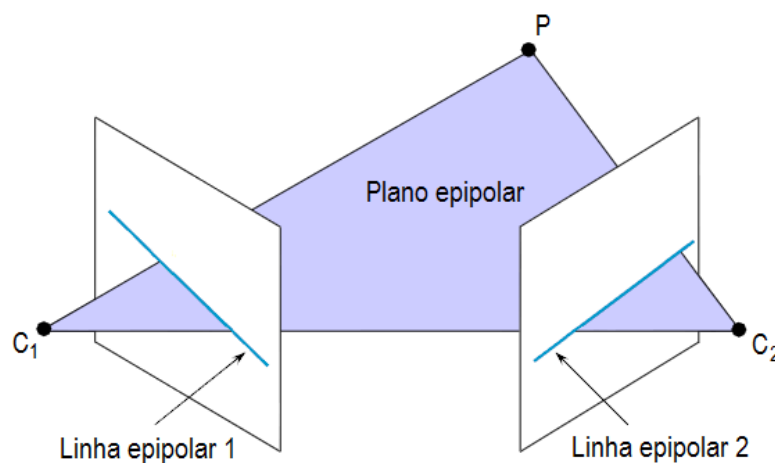


Figura 40 – Geometria epipolar e planos epipolares [Nelson, 2007].

Para gerar a amostra, foi extraída automaticamente uma malha de pontos de 5 em 5 metros, base para o modelo digital de superfície. Para evitar a possível existência de vários valores de cota para os mesmos pontos, como aconteceu com a primeira amostra gerada, as zonas de sobreposição entre cada par estereoscópico de cada fiada foram eliminadas no programa MicroStation. Para tal, foram determinados os limites aproximados das áreas entre os centros de projeção de cada par estereoscópico e as zonas de sobreposição das fotografias nessa área foram eliminadas.

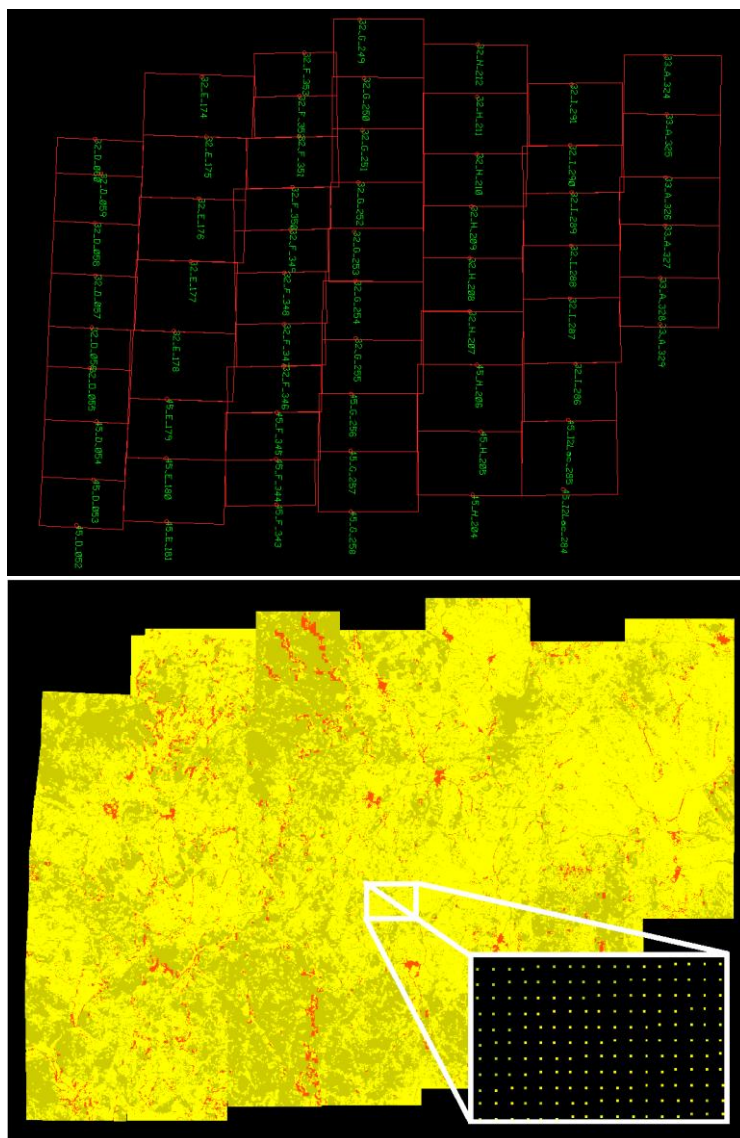


Figura 41 – Em cima, os limites aproximados das áreas entre os centros de projeção dos pares estereoscópicos. Em baixo, a amostra de pontos gerada pelo ISAE.

#### 4.15. Geração da TIN

Uma TIN é uma malha constituída por triângulos de dimensões variáveis, definida sobre uma amostra de pontos cotados distribuídos de forma irregular e associada a algoritmos de interpolação local. Apesar das TIN não proporcionarem a mesma facilidade de arrumação da informação dos modelos regulares, estas adequam-se à irregularidade das amostras no terreno recolhidas pelos métodos topográficos e fotogramétricos convencionais, permitindo uma maior fidelidade na representação de linhas de descontinuidade no relevo [Casaca *et al.*, 2005]. Constituem uma estrutura vetorial com topologia do tipo *nó-arco* e representam uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos 3 vértices da face do triângulo são armazenados as coordenadas de localização (x, y) e o atributo z, com o valor de elevação ou

altitude. Quanto mais equiláteras forem as faces dos triângulos, maior a exatidão com que se descreve a superfície [Câmara *et al.*, 2001].

A rede de triângulos criada a partir da amostra tem de seguir determinados critérios para melhor se adaptar à distribuição espacial local e geral dos pontos da amostra. Existem vários métodos para a seleção de uma triangulação, sendo o mais utilizado a triangulação de Delaunay. Neste método os triângulos são definidos de tal modo que o círculo que passa pelos três vértices de qualquer um dos triângulos não contém nenhum outro ponto da amostra no seu interior [Redweik, 2011] e o ângulo mínimo no interior dos triângulos é maximizado, evitando triângulos longos e finos [ArcGIS Resource Center, 2012].

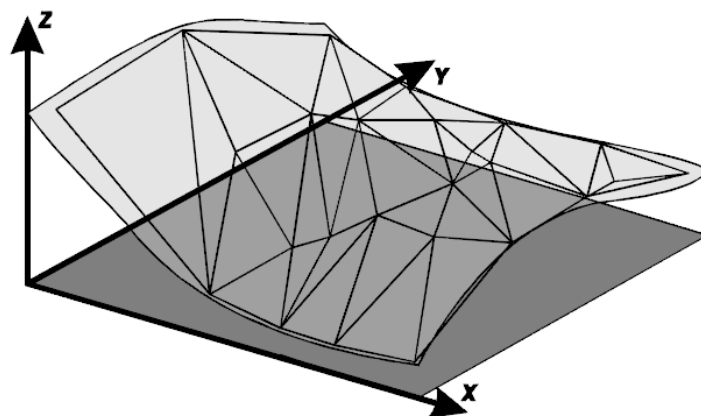


Figura 42 – Exemplo de uma superfície e da malha triangular correspondente [Câmara *et al.*, 2001].

A nova amostra de pontos obtida no programa Microstation encontrava-se sobre a forma de ficheiro de texto para cada uma das fiadas. Para se gerar a TIN no ArcMap, criou-se uma classe multipontual, com espaçamento igual ao definido de 5 em 5 metros.



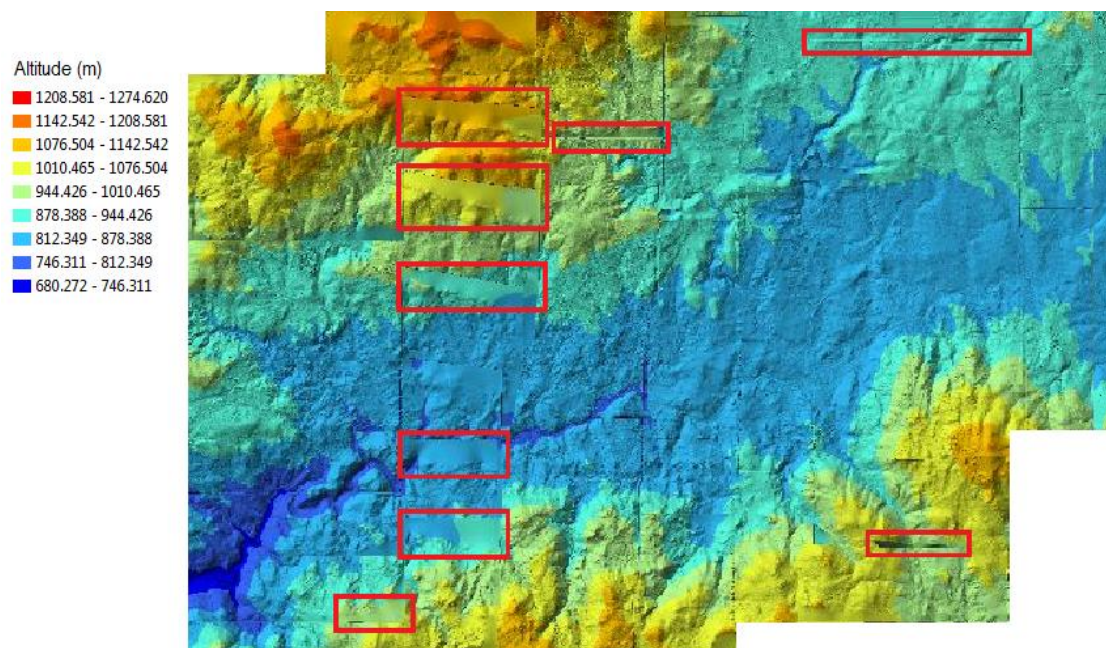


Figura 43 –MDS com TIN gerada sobre a amostra, antes da eliminação dos pontos nas zonas de sobreposição de modelos.

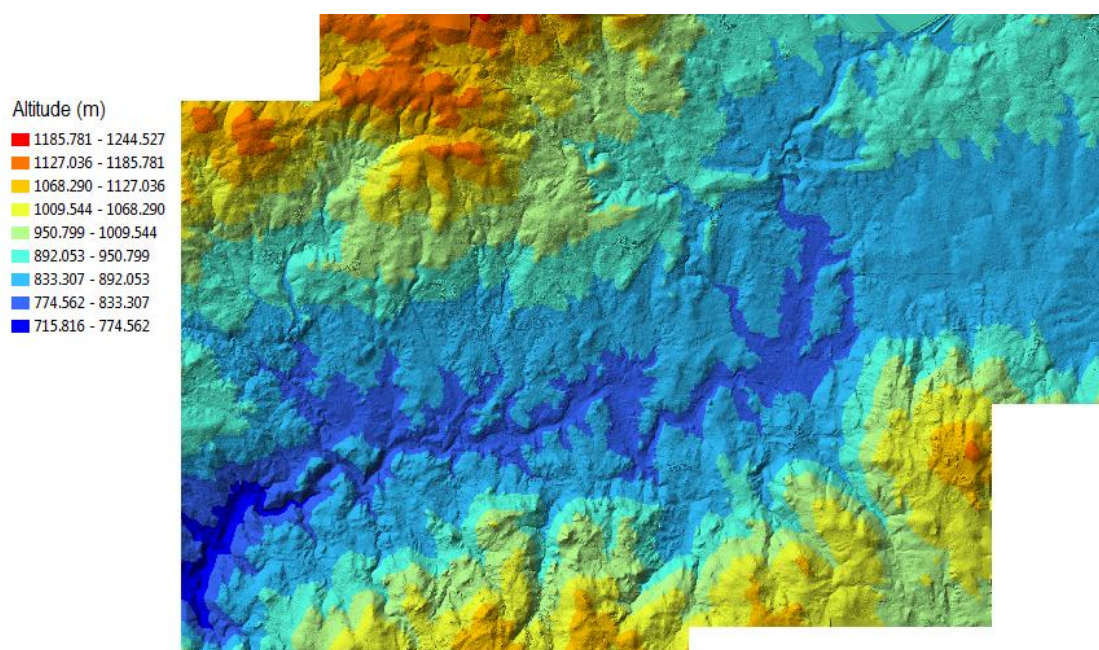


Figura 44 – MDS com TIN gerada sobre a nova amostra, após a eliminação dos pontos nas zonas de sobreposição de modelos.

#### 4.16. Geração do mosaico

Uma ortofoto (fotografia ortorretificada) é uma representação fotográfica do pormenor do terreno fiel à sua posição planimétrica e com a mesma densidade de informação da fotografia original. Está corrigida da inclinação, do deslocamento topográfico e das distorções da lente da câmara. As ortofotos são obtidas a partir do processo de retificação diferencial de fotografias aéreas (ortorretificação) que consiste na transformação de uma fotografia, que é uma projeção central/perspetiva, numa imagem que é uma projeção ortogonal do terreno [Paine e Kiser, 2012]. As ortofotos apresentam uma escala uniforme, tal como uma carta, enquanto as fotografias têm distorções projetivas, causadas pela inclinação do eixo ótico, e distorções perspetivas, devidas ao relevo do terreno, que fazem com que a escala varie [Redweik, 2011]. Neste contexto, um mosaico representa um conjunto de ortofotos unidas por *seamlines*<sup>6</sup>.

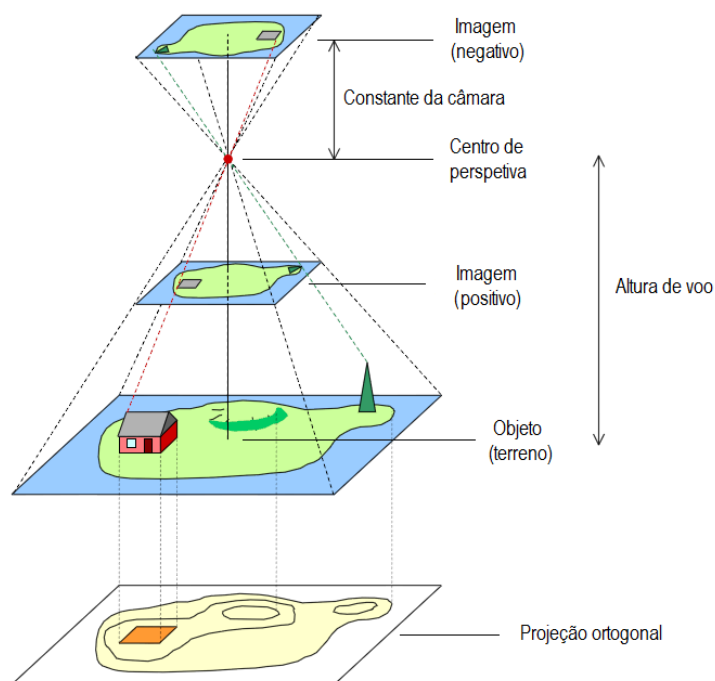


Figura 45 – Esquema da retificação de uma fotografia aérea [Nelson, 2007]

A produção de ortofotos no programa ISOP consiste em criar um projeto onde se introduzem as fotografias aéreas e a sua localização, o MDS (formato ASCII) a utilizar, o resultado da triangulação aérea, a área de trabalho e a dimensão do pixel no terreno. O programa processa esta informação e começa por ortorretificar as fotografias, sobre elas gera as *seamlines*, efetuando uma harmonização radiométrica das imagens para um produto final com tons equilibrados. O tom de cinza das imagens a ser atribuído a cada pixel da imagem foi determinado pelo método de interpolação da convolução cúbica.

<sup>6</sup> As *seamlines* são linhas de união na zona de sobreposição de duas fotografias consecutivas, que podem ser geradas manual ou automaticamente.



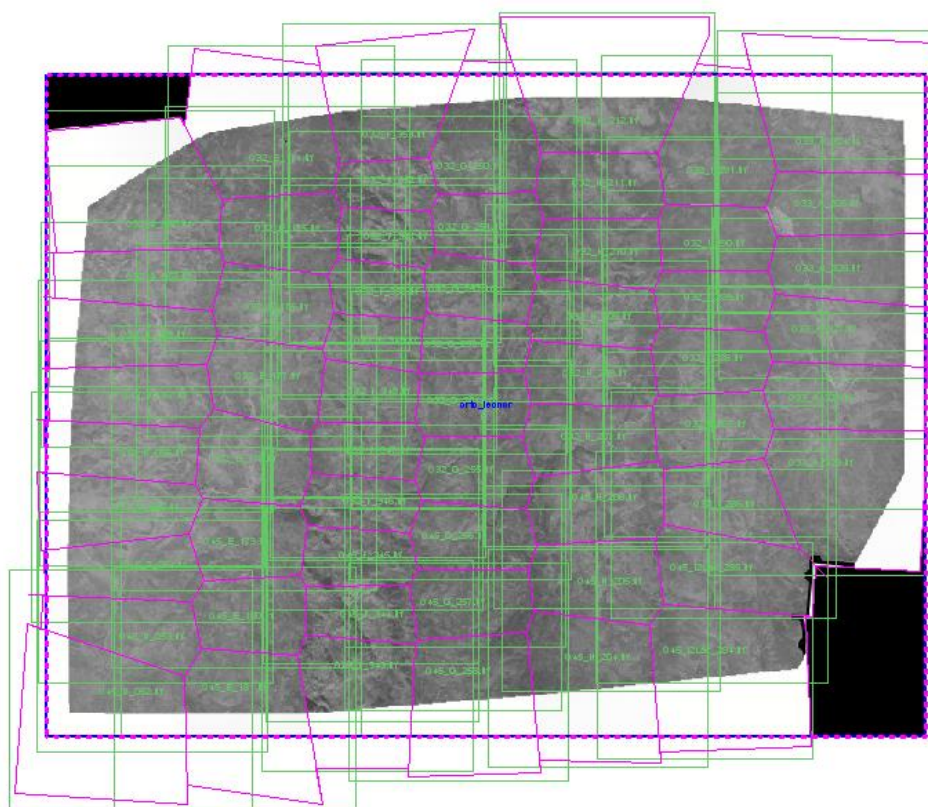


Figura 46 – Processo de criação do mosaico no ISOP, com as *seamlines* geradas (a roxo).



Figura 47 – Mosaico final, após o corte das zonas sem informação (a preto).

#### 4.17. Criação do modelo 3D com textura real

O modelo 3D com textura real do terreno foi criado na aplicação ArcScene. Para tal, o *raster* obtido a partir da TIN foi adicionado como superfície base para definição de altitude ao mosaico criado no ISOP. Para melhor visualizar a topografia do terreno, foi adicionado um fator de aumento às cotas dos pontos.

Na mesma aplicação, foi ainda desenvolvido um vídeo sobre este modelo, focando as zonas de interesse onde se localizam alguns dos elementos arqueológicos em estudo.

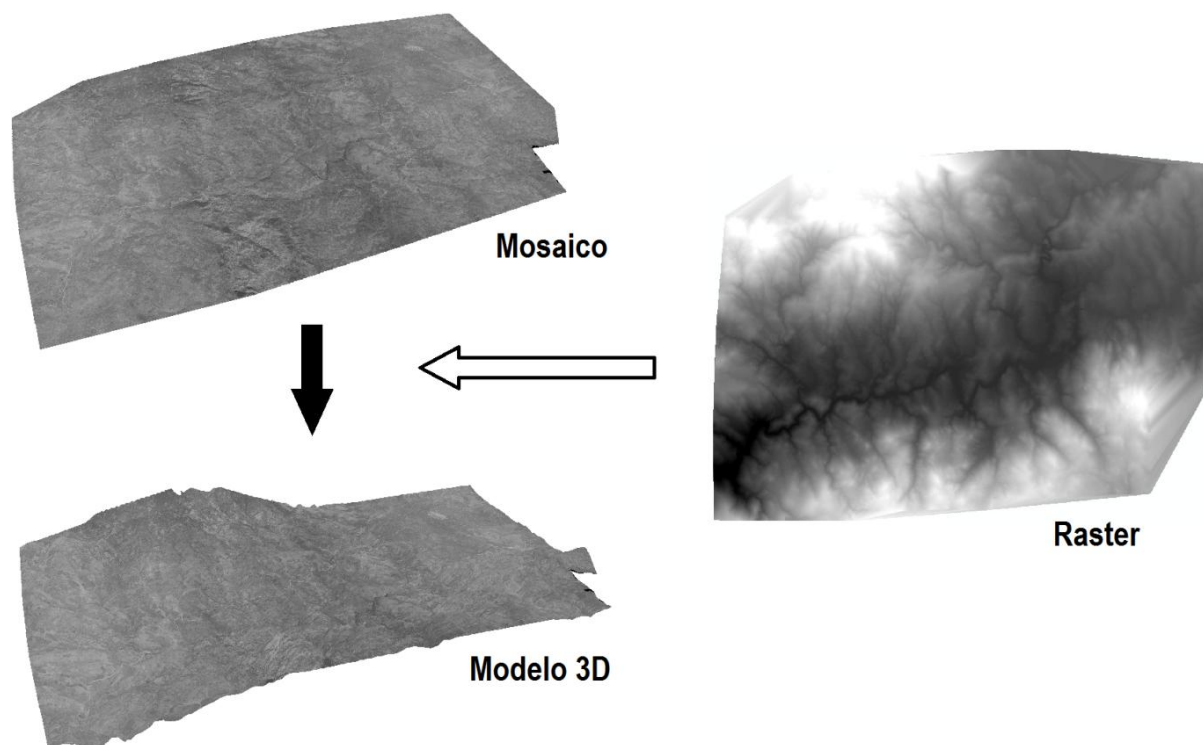


Figura 48 – Esquema da obtenção do modelo 3D com textura real da zona da barragem do Alto Rabagão.

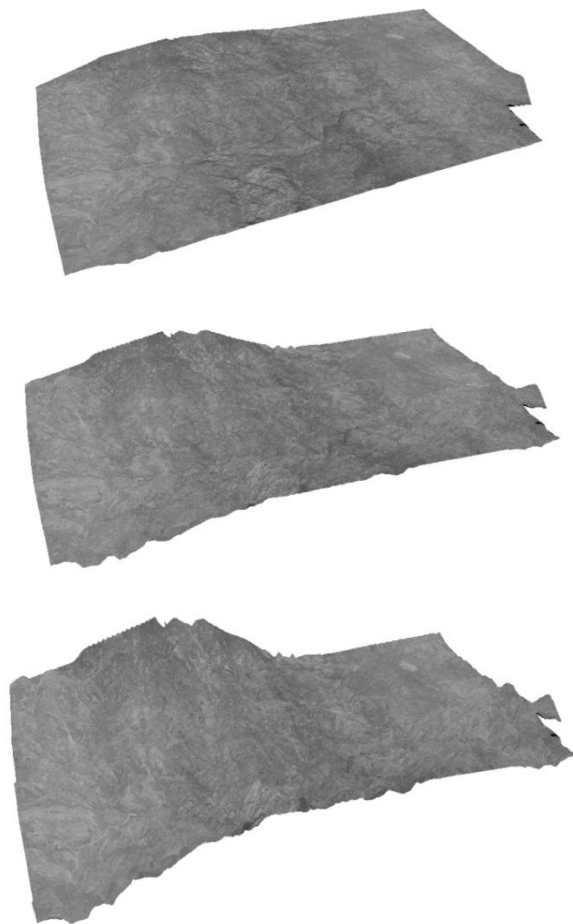


Figura 49 – Modelo 3D com textura real com as cotas reais (em cima), com fator 3 de sobrelevação das cotas (no centro) e com fator 5 de sobrelevação das cotas (em baixo).



Figura 50 – Várias perspectivas do modelo 3D com textura real, com fator 3 de sobrelevação das cotas.



Figura 51 – Alguns pormenores do terreno, no mosaico final.

## 5. Resultados

Apesar dos resultados serem ainda provisórios e estarem em desenvolvimento, estes mostraram-se, segundo os arqueólogos, bastante promissores. Na zona da barragem do Alto Rabagão já foram identificados os seguintes elementos arqueológicos:

- a Via Romana XVII. Esta via, que passa pelo vale do Alto Rabagão foi uma das principais vias do noroeste da Península Ibérica ligando *Bracara Augusta* (Braga) a *Asturica Augusta* (Astorga) e passando por *Aquae Flaviae* (Chaves);
- um pisão (engenho que permitia transformar uma teia de lã em mantas ou vestuário);
- possíveis cistas funerárias romanas.

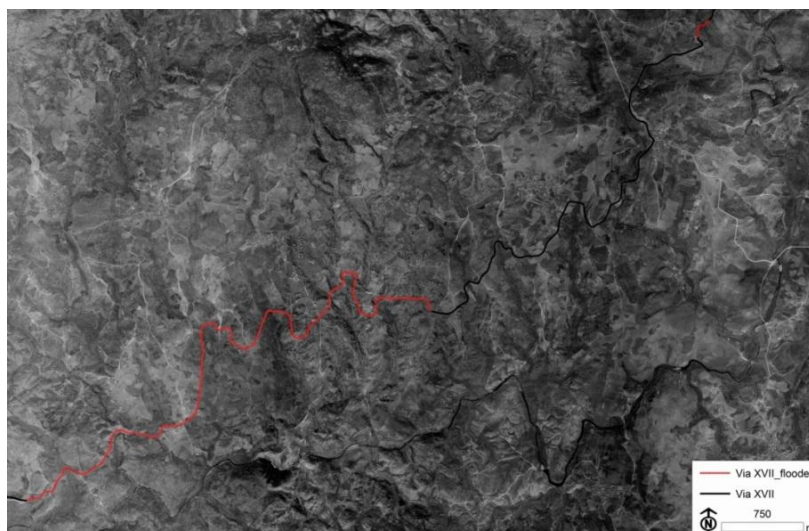


Figura 52 – Reconstrução da Via Romana XVII na zona da barragem do Alto Rabagão [Fonte *et al.*, 2012].

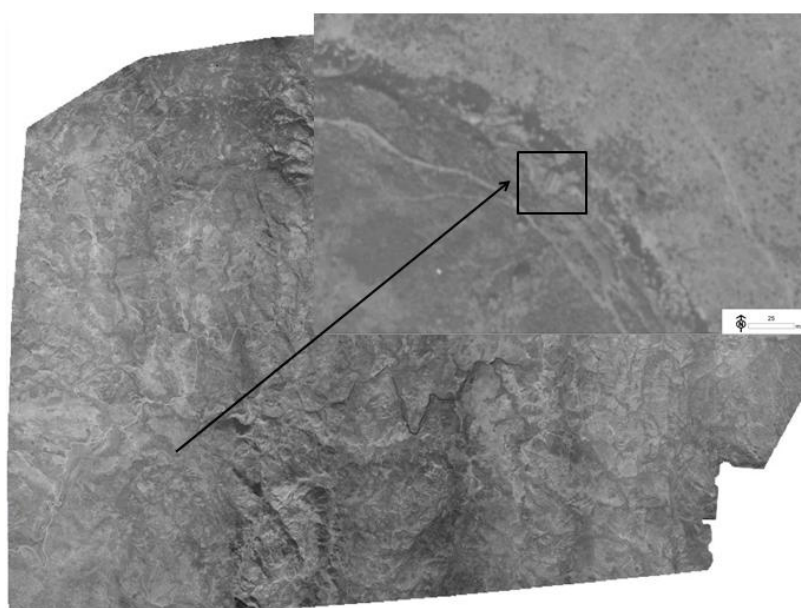


Figura 53 – Pisão em 1949 [Fonte *et al.*, 2012].



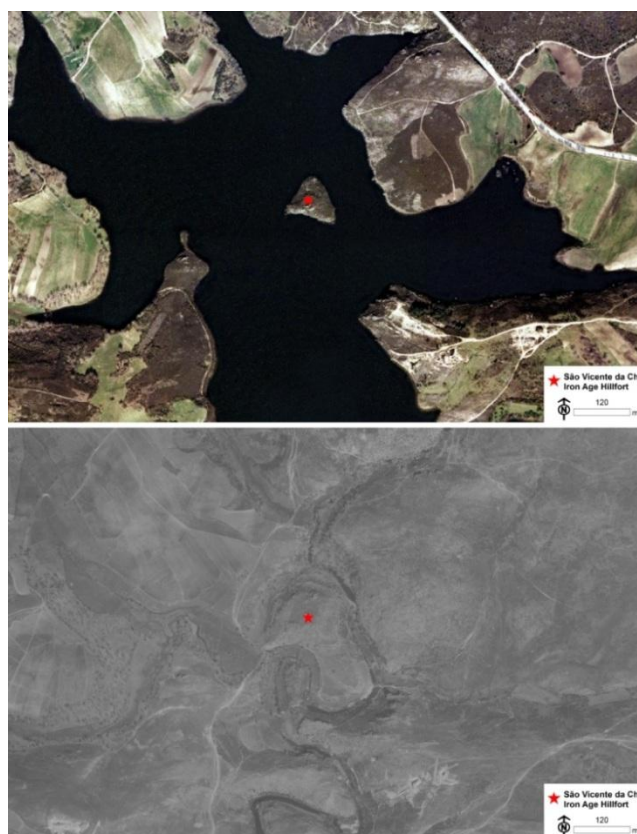


Figura 54 – Castro da Idade do Ferro atualmente (em cima) e em 1949 (em baixo) [Fonte *et al.*, 2012].

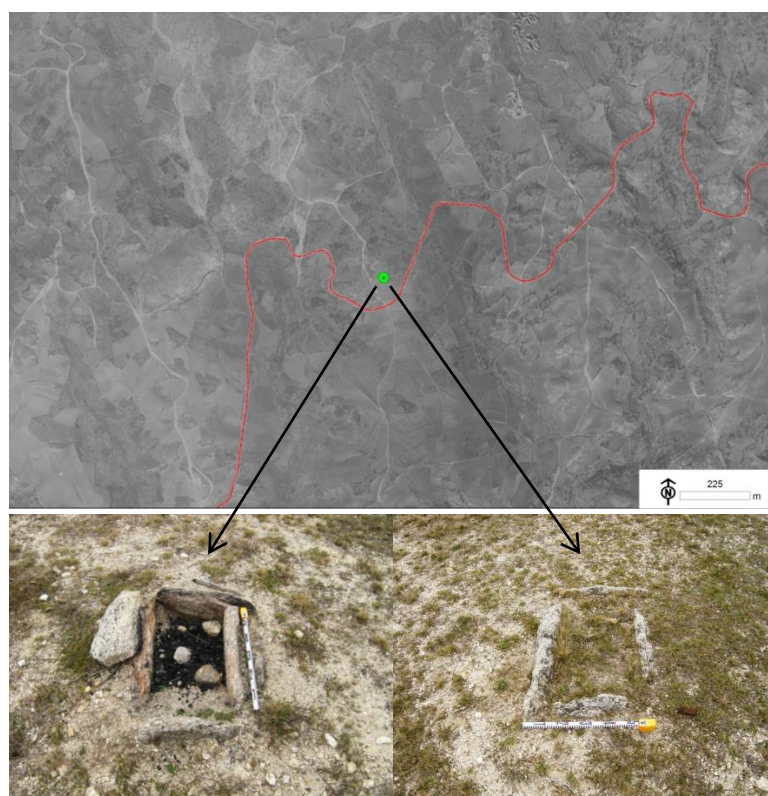


Figura 55 – Possíveis cistas funerárias romanas [Fonte *et al.*, 2012].

## 6. Conclusões

Este trabalho mostrou a importância que a engenharia geográfica tem no estudo e resolução de problemas de outras áreas do conhecimento, neste caso, a arqueologia.

O trabalho realizado exigiu o domínio de conhecimentos adquiridos ao longo do curso e o relacionamento de conceitos administrados em várias cadeiras. As dificuldades sentidas não se deveram à falta de informação ou de preparação, mas sim à falta de prática e experiência, o que pode ter influenciado não tanto os resultados, mas a velocidade de progressão do trabalho, nomeadamente na realização de algumas tarefas da triangulação aérea no ISAT.

A triangulação aérea é uma tarefa crítica, pois todas as atividades do processo fotogramétrico dependem da sua precisão. A execução desta tarefa exige, por parte do operador, muita organização, rigor e experiência, pois a qualidade do resultado final depende muito destes fatores. Os resultados obtidos demonstram que as fotografias usadas, apesar de terem mais de 60 anos, ainda estão em boas condições e mantêm a sua qualidade radiométrica e geométrica, possibilitando a sua utilização para diversos produtos ou estudos. Assim, a proposta de trabalho foi plenamente realizada dentro das exigências, o que aprova os métodos utilizados, e originou a uma peça fiável para o estudo das variações geográficas e sociais da região estudada.

A interpretação dos resultados por parte dos arqueólogos ainda não está concluída. Contudo, foi feita uma análise da precisão do modelo digital de elevação através da comparação das altitudes estimadas por este modelo e um modelo digital de terreno derivado de cartografia recente à escala 1:10000. Para amostras de 100 pontos aleatórios fora da área inundada pela barragem, as diferenças de altitude apresentavam um EMQ de 2.2 m. Este valor confirma que, apesar das dificuldades em trabalhar com fotografias antigas, os resultados podem ser comparados com os que se conseguem obter hoje em dia utilizando cartografia de escala média.

Embora já tenha sido possível identificar alguns elementos de interesse histórico, o estudo desta zona continuará a ser desenvolvido no futuro.

## 7. Referências bibliográficas

- Aerial Arts (2012) "History of Aerial Photography" (disponível em: <http://www.aerialarts.com/History/history.htm>,  
acedido em outubro 2012).
- Antunes, C. (2012) *Geodesia I*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- ArcGIS Resource Center (2012) "Fundamentals for georeferencing a raster dataset" (disponível em:  
<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009t000000mn000000> acedido em outubro  
2012).
- Caderno (2012) "Cartograma da série M888 da Carta Militar de Portugal adaptada para Google Earth"  
(disponível em: [http://caderno.net/cartografia/cartograma-da-serie-m888-da-carta-militar-de-portugal-  
google-earth/](http://caderno.net/cartografia/cartograma-da-serie-m888-da-carta-militar-de-portugal-google-earth/), acedido em outubro 2012).
- Câmara, G., Barbosa, C., Davis, C., e Fonseca, F. (2001) *Conceitos Básicos em Geoprocessamento*. Texto não  
publicado, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Brasil.
- Campos, A. (2009) *Sistemas de Informação Geográfica*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da  
Universidade de Lisboa.
- Catalão, J. (2007) *Projeções Cartográficas*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de  
Lisboa.
- Casaca, J., Matos, J., e Baio, M. (2005) *Topografia Geral*. 4ª Edição, LIDEL, Lisboa.
- Coelho, L., e Brito, J.N. (2007) *Fotogrametria digital*. Texto não publicado. Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro.
- English Heritage (2012) "Stonehenge WHS NMP" (disponível em: [http://www.english-  
heritage.org.uk/professional/research/landscapes-and-areas/national-mapping-programme/stonehenge-  
whs-nmp/](http://www.english-heritage.org.uk/professional/research/landscapes-and-areas/national-mapping-programme/stonehenge-whs-nmp/), acedido em outubro 2012).
- Espigueiro (2012) "Alto Rabagão" (disponível em:  
[http://www.espigueiro.pt/destaque\\_semanal/9f61408e3afb633e50cdf1b20de6f466.html](http://www.espigueiro.pt/destaque_semanal/9f61408e3afb633e50cdf1b20de6f466.html), acedido em outubro  
2012).
- Fonte, J., Redweik, P., Gonçalves, J.A., Vila Lobos, L., e Filipe, M. (2012) *Recovering Missing Landscapes  
Through Historical Aerial Images*. 3<sup>rd</sup> EARSeL Workshop on Remote Sensing for Archaeology and Cultural  
Heritage Management. Ghent, Bélgica, 19–22 de Setembro, 2012.
- Historic Cornwall (2012) "Aerial Photographs and Archaeology" (disponível em: [http://www.historic-  
cornwall.org.uk/flyingpast/images/PDF\\_downloads/Aerial%20Survey.pdf](http://www.historic-cornwall.org.uk/flyingpast/images/PDF_downloads/Aerial%20Survey.pdf), acedido em outubro 2012).
- IGeoE (2008) *Manual de Leitura de Cartas*. 7ª Edição, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa.



- IGeoE (2012a) “O Instituto” (disponível em: <http://www.igeoe.pt/>, acedido em outubro, 2012).
- IGeoE (2012b) “ Sistema de Estações de Referência GPS VIRTuais (SERVIR)” (disponível em: [http://www.igeoe.pt/servir/ifr\\_servir.htm](http://www.igeoe.pt/servir/ifr_servir.htm) e em [http://www.igeoe.pt/servir/txt\\_info.htm](http://www.igeoe.pt/servir/txt_info.htm), acedidos em outubro 2012).
- IGP (2012a) “PT-TM06/ETRS89 - European Terrestrial Reference System 1989” (disponível em: [http://www.igeo.pt/produtos/Geodesia/inf\\_tecnica/sistemas\\_referencia/Datum\\_ETRS89.htm](http://www.igeo.pt/produtos/Geodesia/inf_tecnica/sistemas_referencia/Datum_ETRS89.htm), acedido em outubro 2012).
- IGP (2012b) “GeodPT08” (disponível em: <http://www.igeo.pt/produtos/geodesia/GeodPT08.htm>, acedido em outubro 2012).
- Intergraph (2008a) *ImageStation Automatic Triangulation (ISAT) User's Guide*. Z/I Imaging Corporation, Madison, Alabama.
- Intergraph (2008b) *ImageStation Automatic Elevations (ISAE) User's Guide*. Z/I Imaging Corporation, Madison, Alabama.
- Lathrop, R. (2005) *Principles of Photogrammetry: Stereoscopic Parallax*. Texto não publicado. The State University of New Jersey.
- Marques, A. (2009) *Recuperação Radio-geométrica e Catalogação Digital de Coberturas Aéreas Antigas da Zona de Lisboa*. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Matos, J. (2007) *Fotogrametria*. Texto não publicado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Mendes, V. (2012) *Aulas teóricas de Geodesia II*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Micrograf (2012) “Formato TIFF world file (TFW)” (disponível em: <http://www.micrograf.pt/suporte/it/TS64874.asp>, acedido em outubro 2012).
- Nelson, J. (2007) *Photogrammetry*. KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo.
- Old Aerial Photos (2012) “A brief history of aerial photography” (disponível em: [http://www.oldaerialphotos.com/History\\_of\\_Aerial\\_Photography.cfm](http://www.oldaerialphotos.com/History_of_Aerial_Photography.cfm), acedido em outubro 2012).
- Oliveira, F. (2011) *O concelho de Montalegre no período 1958-1984. Utilização de um sistema de informação geográfica na avaliação da dinâmica da ocupação do solo*. Texto não publicado. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Paine, D.P., e Kiser, J.D. (2012) *Aerial Photography and Image Interpretation*. Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

PAPA International (2012) "History of Aerial Photography" (disponível em:

<http://www.papainternational.org/history.asp>, acedido em outubro 2012).

Past Perfect (2012) "Aerial Photography" (disponível em:

<http://www.pastperfect.org.uk/archaeology/aerialphoto.html>, acedido em outubro 2012).

Redweik, P., Roque, D., Marques, A., Matildes, R., e Marques, F. (2009) *Recovering Portugal Aerial Images Repository*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Redweik, P. (2010) *Fotogrametria Analítica*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.

Redweik, P. (2011) *Produção Cartográfica*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.

Roque, D. (2009) *Cobertura aérea nacional RAF-47 – Recuperação radiométrica e triangulação*. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Santana, R. (2009) *Fotogrametria Digital*. Texto não publicado. Universidade Federal de Viçosa.

SEOS (2012) "Stereopairs" (disponível em: <http://www.seos-project.eu/modules/3d-models/3d-models-c02-p04-s01.html>, acedido em outubro 2012).

Sequeira, F. (2006) *A fotogrametria aplicada ao estudo multi-temporal de movimentos de vertente*. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

## 8. Anexos

**Anexo A** - Cartograma da cobertura aérea de Portugal às escalas 1:25000 e 1:250000, realizada por voos da SPLAL e do SCE entre 1937 e 1952

**Anexo B** – Informação importante relativa à cobertura

**Anexo C** – Coordenadas aproximadas dos centros de projeção das fotografias (Datum Lisboa Militar)

**Anexo D** – Fotografias onde aparecem os pontos fotogramétricos

**Anexo E** – Relatório final do PF1 gerado pelo LGO

**Anexo F** – Coordenadas finais e respetiva precisão global dos pontos coordenados pelo método rápido--estático, após ajustamento do LGO

**Anexo G** – Coordenadas finais e respetiva precisão global dos pontos fotogramétricos (ETRS89)

**Anexo H** – Resultados das transformações das coordenadas dos pontos fotogramétricos no TransCoord Pro

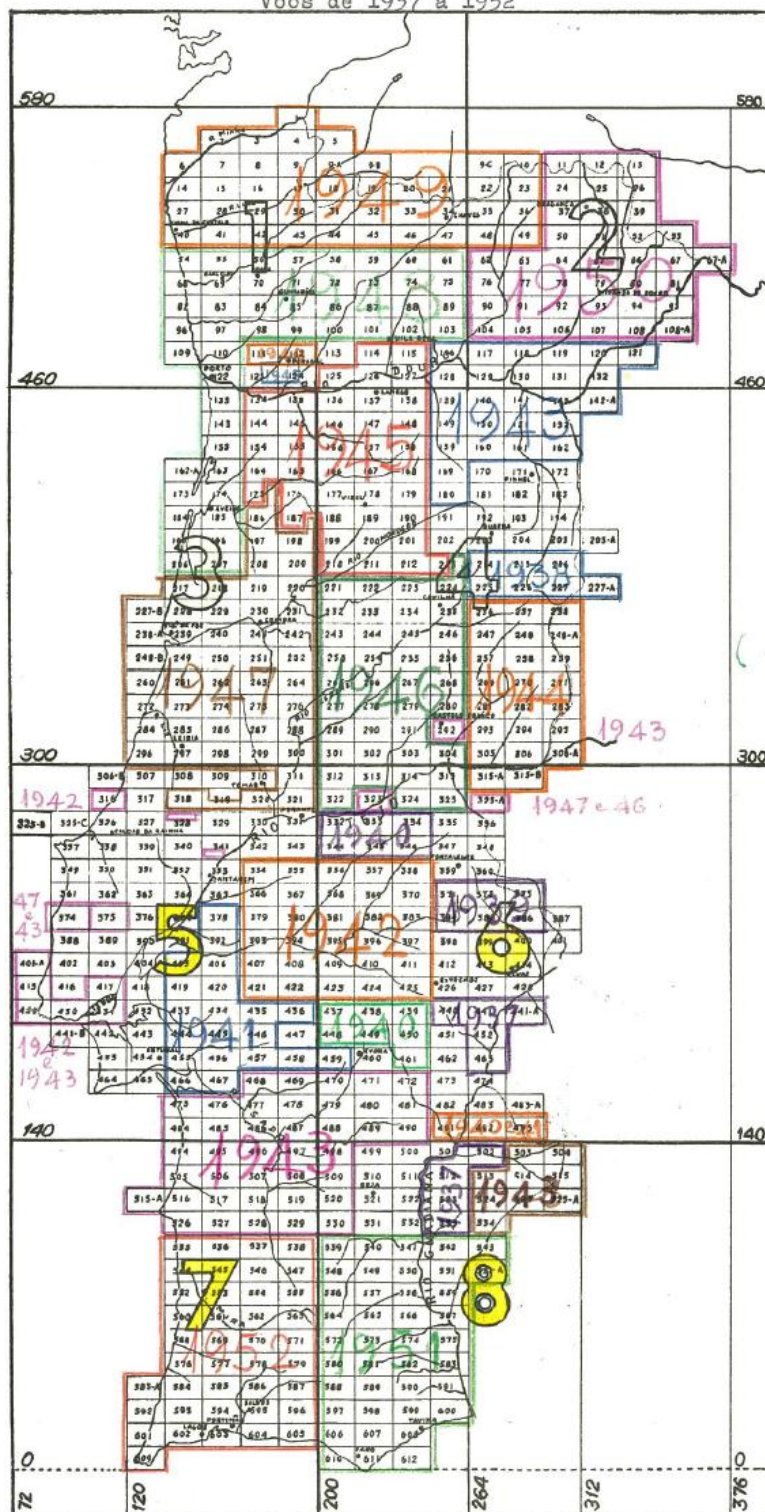
**Anexo I** – Extrato do relatório final da triangulação aérea gerado pelo ISAT

**Anexo J** – Extrato do relatório final das orientações externas gerado pelo ISAT

**Anexo K** – Relatório final das orientações interna, relativa e absoluta, gerado pelo ISAT

**Anexo L** – Fichas definitivas dos pontos fotogramétricos

1/25.000 e 1/250.000  
Voos de 1937 a 1952



## Anexo B – Informação importante relativa à cobertura

Folha	Fiada	Foto	Distância imagem (m)	Distância terreno (m)	Módulo escala foto (m)	Módulo escala média fiada (m)	Altura média voo fiada (m)	Módulo escala média folha (m)	Altura média voo folha (m)	Lado do polígono (m)	Dimensão pixel terreno (m)	
32	D	56	0.017	284.53	16737	16854	3438	16274	3320	2929	0.342	
		59	0.011	191.77	16971							
	E	175	0.012	201.44	16787	16332	3332					
		177	0.028	444.56	15877							
	F	347	0.027	478.36	17717	16589	3384					
		350	0.013	213.12	16394							
		353	0.028	438.36	15656							
	G	251	0.014	222.65	15904	16412	3348					
		254	0.031	524.51	16920							
	H	208	0.020	337.90	16895	16339	3333					
		211	0.028	441.90	15782							
	I	287	0.040	651.83	16296	15120	3084					
		290	0.010	139.44	13944							
33	A	325	0.014	215.53	15506	16082	3281	16082	3281	2895	0.338	
		328	0.023	383.12	16657							
45	D	53	0.014	241.38	17241	17241	3517	16227	3310	2921	0.341	
	E	180	0.019	300.10	15795	15795	3222					
	F	344	0.025	376.87	15075	15075	3075					
	G	257	0.018	296.32	16462	16462	3358					
	H	205	0.013	221.20	17015	17015	3471					
	I <sub>2</sub> Lac	285	0.016	252.34	15771	15771	3217					
Médias								16194	3304	2915	0.340	

**Anexo C – Coordenadas aproximadas dos centros de projeção das fotografias (Datum Lisboa Militar)**

Folha	Fiada	Foto	Coordenadas CP (m)	Folha	Fiada	Foto	Coordenadas CP (m)	Folha	Fiada	Foto	Coordenadas CP (m)
32	D	55	M = 222144.940 P = 530199.494	32	G	250	M = 226805.474 P = 535132.397	33	A	324	M = 231923.175 P = 535508.797
		56	M = 222177.352 P = 530890.719			251	M = 226777.693 P = 534247.364			325	M = 231947.040 P = 534515.814
		57	M = 222240.191 P = 531770.461			252	M = 226705.803 P = 533355.276			326	M = 231933.017 P = 533444.249
		58	M = 222227.358 P = 532665.548			253	M = 226635.821 P = 532517.074			327	M = 231920.670 P = 532619.276
		59	M = 222337.637 P = 533506.149			254	M = 226654.871 P = 531679.578			328	M = 231839.090 P = 531730.142
		60	M = 222236.654 P = 534093.525			255	M = 226662.773 P = 530703.016			329	M = 231832.475 P = 530949.620
	E	174	M = 224050.096 P = 535147.450		H	207	M = 228598.092 P = 531164.404	45	D	52	M = 221919.623 P = 527526.267
		175	M = 224124.179 P = 534131.448			208	M = 228595.975 P = 532070.074			53	M = 222205.374 P = 528300.175
		176	M = 223997.179 P = 533083.696			209	M = 228630.265 P = 532945.177			54	M = 222256.968 P = 529292.364
		177	M = 223862.506 P = 532014.777			210	M = 228722.925 P = 533839.415		E	179	M = 223451.629 P = 529674.831
		178	M = 223573.522 P = 530830.765			211	M = 228727.026 P = 534814.539			180	M = 223442.334 P = 528663.189
	F	346	M = 225434.811 P = 530224.694			212	M = 228733.376 P = 535704.731			181	M = 223447.616 P = 527593.350
		347	M = 225447.094 P = 530944.749		I	286	M = 230398.834 P = 530270.954		F	343	M = 225315.235 P = 527879.823
		348	M = 225452.009 P = 531818.371			287	M = 230303.491 P = 531383.529			344	M = 225311.531 P = 528652.474
		349	M = 225551.360 P = 532549.284			288	M = 230325.451 P = 532277.823			345	M = 225319.204 P = 529447.482
		350	M = 225587.740 P = 533276.228			289	M = 230331.184 P = 533187.991		G	256	M = 226584.929 P = 529760.441
		351	M = 225698.865 P = 534144.063			290	M = 230305.365 P = 533988.305			257	M = 226574.346 P = 528793.387
		352	M = 225704.157 P = 534826.690			291	M = 230329.177 P = 535024.415			258	M = 226577.653 P = 527761.554
		353	M = 225789.353 P = 535562.233						H	204	M = 228648.948 P = 528043.250
										205	M = 228788.813 P = 529116.789
										206	M = 228724.307 P = 530254.693
										284	M = 230188.054 P = 528138.853
									I <sub>2</sub> Lac	285	M = 230274.932 P = 529317.133

## Anexo D – Fotografias onde aparecem os pontos fotogramétricos

PF	Fotografias							
1	32_D_056	32_D_057	32_D_058	32_D_059				
2	32_D_056	32_D_057	32_D_058	32_D_059				
3	32_D_057	32_D_058	32_D_059	32_D_060	32_E_176	32_E_177		
4	32_D_058	32_D_059	32_E_176	32_E_177				
5	32_E_176	32_E_177	32_E_178	32_F_347	32_F_348	32_F_349		
6	32_F_349	32_F_350	32_F_350	32_F_351	32_F_352	32_G_250	32_G_251	32_G_252
7	32_F_349	32_F_350	32_G_252	32_G_253	32_G_254			
8	32_G_251	32_G_252	32_G_253	32_H_210	32_H_209	32_H_208		
9	32_G_251	32_H_210	32_H_211	32_H_212				
10	32_H_210	32_H_211	32_H_212	32_I_290	32_I_291			
11	32_I_289	32_I_290	32_I_291	33_A_324	33_A_325	33_A_326		
12	32_I_289	32_I_290	32_I_291	33_A_324	33_A_325	33_A_326		
13	33_A_326	33_A_327	33_A_327					
14	33_A_328	33_A_329						
15	33_A_328	33_A_329						
16	32_I_286	32_I_287	33_A_329	45_I <sub>2</sub> Lac_285				
17	45_H_204	45_H_205	45_I <sub>2</sub> Lac_284					
18	45_H_205	45_H_206	45_H_207	45_I <sub>2</sub> Lac_285	45_I_286	45_I_287		
19	32_G_255	32_H_207	45_G_256	45_G_257	45_H_205	45_H_206		
20	45_G_257	45_G_258	45_H_204					
21	32_G_255	45_G_256	45_G_257	45_F_344	45_F_345	45_F_346		
22	32_E_178	45_E_180	45_F_343	45_F_344	45_F_345	45_F_346		
23	45_D_052	45_D_053	45_D_054	45_E_180	45_E_181			
24	45_D_052	45_D_053	45_D_054	45_E_179	45_E_180	45_E_181		
25	45_D_052	45_D_053	45_D_054	45_E_179	45_E_180	45_E_181		
26	45_D_053	45_D_054	32_D_055	32_D_056				
27	45_D_054	32_D_055	32_D_056					
28	32_D_056	32_D_057	32_D_058					



**Anexo E** – Relatório final do PF1 gerado pelo LGO

## Results - Baseline

### CHAV - PF1

#### Project Information

Project name: PFS\_leonor  
 Date created: 03/20/2012 13:37:42  
 Time zone: 0h 00'  
 Coordinate system name: ETRS89 (2)  
 Application software: LEICA Geo Office 6.0  
 Processing kernel: PSI-Pro 2.0  
 Processed: 03/20/2012 14:15:47

#### Point Information

	<b>Reference: CHAV</b>	<b>Rover: PF1</b>
Receiver type / S/N:	TRIMBLENETR5 / 4716K05676	GX1230 / 454025
Antenna type / S/N:	TRM55971.00 / -	AX1202 Pole / -
Antenna height:	0.0000 m	2.0000 m
Initial coordinates:		
Latitude:	41° 45' 06.36515" N	41° 45' 32.10991" N
Longitude:	7° 28' 21.61997" W	7° 51' 49.69254" W
Ortho. Hgt:	-	-

#### Processing Parameters

Parameters	Selected	Used	Comment
Cut-off angle:	15°	15°	
Ephemeris type (GPS):	Broadcast	Broadcast	
Ephemeris type (GLONASS):	Broadcast	Broadcast	
Solution type:	Automatic	Phase: all fix	
GNSS type:	Automatic	GPS	
Frequency:	Automatic	Automatic	
Fix ambiguities up to:	80 km	80 km	
Min. duration for float solution (static):	5' 00"	5' 00"	
Sampling rate:	Use all	5	
Tropospheric model:	Hopfield	Hopfield	
Ionospheric model:	Automatic	Computed	
Use stochastic modelling:	Yes	Yes	
Min. distance:	8 km	8 km	
Ionospheric activity:	Automatic	Automatic	

#### Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs): None  
 Manually disabled GLONASS

satellites (Slot Id):                      None

---

## Final Coordinates

---

	<b>Reference:CHAV</b>		<b>Rover:PF1</b>	
Coordinates:				
Latitude:	41° 45' 06.36515" N		41° 45' 31.92657" N	
Longitude:	7° 28' 21.61997" W		7° 51' 49.68030" W	
Ortho. Hgt:	-		-	
Solution type:	Phase: all fix			
GNSS type:	GPS			
Frequency:	IonFree (L3)			
Ambiguity:	Yes			
Quality:	Sd. Lat: 0.0006 m	Sd. Lon: 0.0004 m	Sd. Hgt: 0.0014 m	
	Posn. Qty: 0.0007 m	Sd. Slope: 0.0004 m		

**Anexo F** – Coordenadas finais e respetiva precisão global dos pontos coordenados pelo método rápido-estático, após ajustamento no LGO

PF1	Adjusted	41° 45' 31.92657" N	7° 51' 49.68030" W	976.6459	0.0079
PF2	Adjusted	41° 45' 32.72073" N	7° 51' 50.43916" W	976.1710	0.3202
PF3	Adjusted	41° 46' 00.12471" N	7° 51' 31.40009" W	1023.8189	0.0028
PF4	Adjusted	41° 45' 39.82373" N	7° 50' 56.03268" W	1026.1719	0.0612
PF5	Adjusted	41° 45' 19.98271" N	7° 50' 09.94961" W	938.6093	0.0653
PF6	Adjusted	41° 46' 27.73896" N	7° 48' 50.99033" W	1008.0428	0.0647
PF7	Adjusted	41° 45' 42.96802" N	7° 48' 36.88659" W	978.6237	0.3101
PF8	Adjusted	41° 46' 01.87241" N	7° 47' 46.50852" W	952.0177	0.1717
PF10	Adjusted	41° 47' 05.91284" N	7° 47' 03.60594" W	958.2459	0.0784
PF12	Adjusted	41° 46' 39.00844" N	7° 45' 21.72740" W	972.4092	0.0024
PF13	Adjusted	41° 45' 34.85659" N	7° 44' 16.86464" W	919.8861	0.3210
PF14	Adjusted	41° 45' 00.38892" N	7° 44' 52.22923" W	972.1532	0.0631
PF15	Adjusted	41° 44' 59.81755" N	7° 44' 52.40706" W	973.5208	0.0030
PF18	Adjusted	41° 44' 19.50757" N	7° 47' 01.58671" W	945.0356	0.0028
PF19	Adjusted	41° 44' 11.20052" N	7° 48' 00.93093" W	929.9022	0.0041
PF20	Adjusted	41° 42' 59.77624" N	7° 48' 08.65101" W	1100.8495	0.0020
PF26	Adjusted	41° 44' 07.43736" N	7° 52' 22.04387" W	871.6634	0.0046
PF27	Adjusted	41° 44' 21.24619" N	7° 52' 46.80060" W	938.3522	0.1716
PF28	Adjusted	41° 45' 22.04611" N	7° 52' 12.01809" W	976.6457	0.0632

# Anexo G – Coordenadas finais e respetiva precisão global dos pontos fotogramétricos (ETRS89)

Nome	Altura da antena (m)	Modo	Data de aquisição	Início	Fim	Duração	Coordenadas pré-processamento (RE)				Coordenadas pós-processamento (RE) e tempo real (RTK)			
							Latitude	Longitude	Alt. Elips. (m)	Precisão (m)	Latitude	Longitude	Alt. Elips. (m)	Precisão (m)
PF1	2.000	RE	09-03-2012	15:50:15	16:00:05	09' 50"	41° 45' 32.10991"	-7° 51' 49.69254"	976.228	4.596	41° 45' 31.92857"	-7° 51' 49.68030"	976.646	0.008
PF2	2.475	RE	09-03-2012	16:06:15	16:16:10	09' 55"	41° 45' 32.87311"	-7° 51' 50.37393"	971.150	5.435	41° 45' 32.72073"	-7° 51' 50.43916"	976.171	0.320
PF3	3.730	RE	11-03-2012	08:18:25	08:28:06	09' 41"	41° 46' 00.15413"	-7° 51' 31.37739"	1021.630	3.932	41° 46' 00.12471"	-7° 51' 31.40009"	1023.819	0.003
PF4	2.000	RE	09-03-2012	15:24:52	15:34:04	09' 12"	41° 45' 40.10078"	-7° 50' 55.98387"	1025.524	5.002	41° 45' 39.82373"	-7° 50' 56.03268"	1026.172	0.061
PF5	2.000	RE	09-03-2012	14:55:52	15:06:01	10' 09"	41° 45' 20.25998"	-7° 50' 09.90981"	935.563	4.793	41° 45' 19.98271"	-7° 50' 09.94961"	938.609	0.065
PF6	3.640	RE	09-03-2012	17:33:01	17:43:24	10' 23"	41° 46' 27.86599"	-7° 48' 50.97708"	1002.271	4.862	41° 46' 27.73896"	-7° 48' 50.99033"	1008.043	0.065
PF7	2.000	RE	10-03-2012	20:34:02	20:43:33	09' 31"	41° 45' 42.95404"	-7° 48' 36.96881"	977.805	5.480	41° 45' 42.96802"	-7° 48' 36.88659"	978.624	0.311
PF8	3.430	RE	10-03-2012	20:07:28	20:17:08	09' 40"	41° 46' 01.84010"	-7° 47' 46.58585"	949.384	4.656	41° 46' 01.87241"	-7° 47' 46.50852"	952.018	0.172
PF9	2.670	RTK	09-03-2012	-	-	-	-	-	-	-	41° 47' 08.11718"	-7° 47' 37.25630"	978.787	0.035
PF10	2.430	RE	09-03-2012	12:04:45	12:14:03	09' 18"	41° 47' 06.10423"	-7° 47' 03.69583"	959.496	4.321	41° 47' 05.91284"	-7° 47' 03.60594"	958.246	0.078
PF11	2.950	RTK	09-03-2012	-	-	-	-	-	-	-	41° 46' 38.52032"	-7° 45' 21.36365"	972.269	0.037
PF12	2.000	RE	11-03-2012	14:59:41	15:09:10	09' 29"	41° 46' 38.73742"	-7° 45' 21.89658"	970.160	7.627	41° 46' 39.00844"	-7° 45' 21.72740"	972.409	0.002
PF13	2.000	RE	09-03-2012	13:43:22	13:53:05	09' 43"	41° 45' 35.03080"	-7° 44' 16.80391"	911.281	5.173	41° 45' 34.85659"	-7° 44' 16.86464"	919.886	0.321
PF14	2.000	RE	09-03-2012	14:09:12	14:19:09	09' 57"	41° 45' 00.64438"	-7° 44' 52.21111"	964.306	5.352	41° 45' 00.38892"	-7° 44' 52.22923"	972.153	0.063
PF15	2.000	RE	11-03-2012	14:01:07	14:11:11	10' 04"	41° 44' 59.86114"	-7° 44' 52.40321"	960.973	4.585	41° 44' 59.81755"	-7° 44' 52.40706"	973.521	0.003
PF16	3.070	RTK	11-03-2012	-	-	-	-	-	-	-	41° 44' 22.56496"	-7° 45' 24.66977"	1201.885	0.019
PF17	Não foi coordenado (acesso interdito)													
PF18	3.850	RE	11-03-2012	12:02:02	12:12:03	10' 01"	41° 44' 19.55146"	-7° 47' 01.55138"	934.834	3.616	41° 44' 19.50757"	-7° 47' 01.58671"	945.036	0.003
PF19	2.000	RE	11-03-2012	11:36:34	11:46:05	09' 31"	41° 44' 11.22857"	-7° 48' 00.89748"	925.365	3.570	41° 44' 11.20052"	-7° 48' 00.93093"	929.902	0.004
PF20	2.000	RE	11-03-2012	13:19:51	13:29:05	09' 14"	41° 44' 11.22857"	-7° 48' 00.89748"	1088.137	4.530	41° 42' 59.77624"	-7° 48' 08.65101"	1100.850	0.002
PF21	2.000	RTK	11-03-2012	-	-	-	-	-	-	-	41° 44' 04.03926"	-7° 48' 57.00012"	946.492	0.013
PF22	Foi coordenado mas não existe nas fotos antigas													
PF23	2.000	RTK	11-03-2012	-	-	-	-	-	-	-	41° 43' 15.73450"	-7° 51' 11.67524"	1019.552	0.015
PF24	2.000	RTK	11-03-2012	-	-	-	-	-	-	-	41° 43' 33.49598"	-7° 51' 26.27365"	932.563	0.035
PF25	2.000	RTK	11-03-2012	-	-	-	-	-	-	-	41° 43' 32.16916"	-7° 51' 22.55043"	931.115	0.032
PF26	2.000	RE	11-03-2012	09:01:14	09:11:18	10' 04"	41° 44' 07.42923"	-7° 52' 22.04622"	870.547	4.550	41° 44' 07.43736"	-7° 52' 22.04387"	871.663	0.005
PF27	2.475	RE	10-03-2012	19:40:42	19:50:36	09' 54"	41° 44' 21.20034"	-7° 52' 46.88527"	937.134	5.503	41° 44' 21.24619"	-7° 52' 46.80060"	938.352	0.172
PF28	3.730	RE	09-03-2012	16:34:11	16:44:14	10' 03"	41° 45' 22.15412"	-7° 52' 11.97240"	968.200	4.121	41° 45' 22.04611"	-7° 52' 12.01809"	976.646	0.063

## Anexo H – Resultados das transformações das coordenadas dos pontos fotogramétricos no TransCoord Pro

Sistema de Entrada: PT-TM06 - ETRS89  
 Coordenadas: Geodésicas  
 Altimetria: Elipsoidal  
 Sistema de Saída: PT-TM06 - ETRS89  
 Coordenadas: Rectangulares  
 Altimetria: Elipsoidal  
 Transformação: Directa  
 Parâmetros:

Nome	M	P	Altitude
#			
" PF1"	22396.4409	232193.9575	976.6460
" PF2"	22378.8340	232218.4045	976.1710
" PF3"	22815.9537	233065.2737	1023.8190
" PF4"	23634.9396	232441.5911	1026.1720
" PF5"	24701.5732	231833.0435	938.6090
" PF6"	26517.9402	233930.0214	1008.0430
" PF7"	26848.8546	232549.9416	978.6240
" PF8"	28010.2902	233137.6512	952.0180
" PF9"	28215.9299	235182.3111	978.7870
" PF10"	28993.2344	235117.4111	958.2460
" PF11"	31357.8660	234282.2473	972.2690
" PF12"	31349.3994	234297.2702	972.4090
" PF13"	32856.4417	232324.7486	919.8860
" PF14"	32044.2622	231257.6313	972.1530
" PF15"	32040.2325	231239.9848	973.5210
" PF16"	31299.8590	230087.3550	1201.8850
" PF18"	29060.7101	229983.5865	945.0360
" PF19"	27690.3726	229721.8596	929.9020
" PF20"	27520.4358	227517.5703	1100.8500
" PF21"	26395.4917	229496.0245	946.4920
" PF23"	23288.0528	227994.9170	1019.5520
" PF24"	22948.8641	228541.8095	932.5630
" PF25"	23035.0490	228501.1503	931.1150
" PF26"	21656.7021	229584.9644	871.6630
" PF27"	21083.3388	230009.2912	938.3520
" PF28"	21881.3522	231887.5247	976.6460

Sistema de Entrada: PT-TM06 - ETRS89  
 Coordenadas: Rectangulares  
 Altimetria: Elipsoidal  
 Sistema de Saída: PT-TM06 - ETRS89  
 Coordenadas: Rectangulares  
 Altimetria: Ortométrica  
 Transformação: Directa  
 Parâmetros:

Nome	M	P	Altitude
#			
" PF1"	22396.4409	232193.9575	919.9633
" PF2"	22378.8340	232218.4045	919.4880
" PF3"	22815.9537	233065.2737	967.1141
" PF4"	23634.9396	232441.5911	969.4755
" PF5"	24701.5732	231833.0435	881.9183
" PF6"	26517.9402	233930.0214	951.3276
" PF7"	26848.8546	232549.9416	921.9306
" PF8"	28010.2902	233137.6512	895.3265
" PF9"	28215.9299	235182.3111	922.0718
" PF10"	28993.2344	235117.4111	901.5378
" PF11"	31357.8660	234282.2473	915.5951
" PF12"	31349.3994	234297.2702	915.7347
" PF13"	32856.4417	232324.7486	863.2631
" PF14"	32044.2622	231257.6313	915.5284
" PF15"	32040.2325	231239.9848	916.8965
" PF16"	31299.8590	230087.3550	1145.2633
" PF18"	29060.7101	229983.5865	888.3845
" PF19"	27690.3726	229721.8596	873.2385
" PF20"	27520.4358	227517.5703	1044.2029
" PF21"	26395.4917	229496.0245	889.8208
" PF23"	23288.0528	227994.9170	962.9064
" PF24"	22948.8641	228541.8095	875.9194
" PF25"	23035.0490	228501.1503	874.4706
" PF26"	21656.7021	229584.9644	815.0266
" PF27"	21083.3388	230009.2912	881.7179
" PF28"	21881.3522	231887.5247	919.9729

## Anexo I – Extrato do relatório final da triangulação aérea gerado pelo ISAT

Photo-T Parameters and Results for Project Rabagao\_b

### PhotoT Triangulation Options

Adjustment Mode : Absolute  
Precision Computation : Enabled  
Error Detection : Enabled  
Camera Calibration : Disabled  
Self-Calibration : Disabled  
Given EO/GPS : Disabled  
Antenna Offsets : Disabled  
GPS Shift/Drift Correction : Disabled  
INS Shift/Drift Correction : Disabled

### Parameters

	Parameter	X/Omega	Y/Phi	Z/Kappa	XY
	RMS Control	0.014	0.013	0.005	0.013
	RMS Check				
	RMS Limits	0.500	0.500	1.000	
	Max Ground Residual	0.357	0.275	0.140	
	Residual Limits	0.500	0.500	0.500	
	Mean Std Dev Object	0.024	0.023	0.076	
	RMS Photo Position				
	RMS Photo Attitude				
Mean Std Dev	Photo Position	0.091	0.095	0.023	
Mean Std Dev	Photo Attitude	0.002	0.001	0.000	

### Key Statistics

Sigma: 4.8 um  
Number of iterations: 9  
Degrees of Freedom: 22302

Solution Successful.

### Current Count

Control Points Used: 2578  
Check Points Used: 0  
Photos Used: 60  
Photos Not Used: 0  
Image Points Used: 11331

Cameras used: (1).

Camera Id	Lens	Distortion
RMK_S_1818		off

### Project Settings

Linear Units:Meters  
Angular Units: Degrees  
Atm Refraction: Off  
Earth Curvature: Off



## Anexo J – Extrato do relatório final das orientações externas gerado pelo ISAT

Job started at: Tue Jun 19 13:34:14 2012

```
*****
* Program name : ImageStation Automatic Triangulation *
* Copyright (c) Z/I Imaging Corporation 2000-2001 *
*****
```

```
Block Preparation ...
Project Name       : G:\PROJECT0\RABAGA~1
Block Name        : BLOCO
Block Size        : 7 strips    60 photos
Camera Used       : RMK_S_1818
Focal Length (mm) : 204.400
Photo Scale       : 1:11620
Photo Size in X Y : 183.0 186.0
Photo Size in R C : 8900 8900
Linear & Angular Units : Meters & Degrees
Block coverage X Y (Min) : 19785.6 225361.4
                   X Y (Max) : 34053.5 237863.5
Flying Height (L-unit) : 3295.0
Average Elevation (L-unit) : 921.0
```

```
ISAT Control Panel Options
Initial Tie Point ID : 10000000
Pyramid Levels to Be Used : 6
Overview to Start : 5 672.0 (um)
Overview to Stop : 0 21.0 (um)
Band to Match : Intensity
Use GPS/INS EO Flag : OFF
GPS/INS QC/QA Flag : OFF
Automatic Point Thinning : NO
Automatic Stretching : OFF
Reduction of Shadow Points : OFF
```

```
Bundle Adjustment Options
Adjustment Type : Absolute With Given EO
Blunder Detection : ON
Atmospheric Flag : OFF
Earth Curvature Flag : OFF
```

Start Image Matching and Automatic Generation of Tie Points...

Feature-Based Matching at 672 um ...

... Feature-Based Matching at 336 um ...

... Least Squares Point Tracking at 84 um ...

... Clearing Tie Point List at 84 um ...

```
*****
Performing Bundle Adjustment
*****
```

StdDev for matched image points: 28 um (1/3 pixel size)  
StdDev for manual points: 11 um

Processing 60 photos, 13878 image points measured (13757 automatically, 121 manually)

Blunder detection removed 42 of 13878 image points:

=> 28 of 13757 automatically measured points

=> 14 of 121 manually measured points withheld

Final Sigma: 20.7 um

```
*****
Adjusted EO Parameters
*****
```

Strip ID	Photo ID	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa
A	324	31995.27	235487.94	4235.33	-0.911	0.700	177.438
A	325	31966.85	234558.57	4230.07	-0.415	0.482	177.770
A	326	31941.87	233625.26	4231.99	-0.374	-0.229	178.239
A	327	31911.90	232696.43	4232.99	0.337	0.482	178.051
A	328	31877.20	231780.15	4231.00	-0.684	0.426	177.437
A	329	31834.92	230862.21	4232.46	-0.861	-0.230	176.880
D	53	22065.89	228406.16	4305.86	-0.919	-2.369	178.620
D	54	22116.02	229255.67	4308.70	0.655	-2.215	182.685
D	55	22126.96	230105.95	4307.52	0.681	-0.439	182.196
D	56	22154.12	230947.09	4314.59	-0.180	-0.978	181.636
D	57	22176.44	231792.03	4313.23	-0.612	-1.241	183.179
D	58	22188.83	232650.23	4308.91	-0.208	-0.686	182.705
D	59	22206.76	233518.14	4305.81	-0.749	-1.571	182.876
D	60	22201.40	234393.50	4301.69	-2.390	-1.349	185.534
D	52	21970.61	227568.55	4308.14	-0.752	0.494	-3.989
E	174	24109.78	235111.63	4234.52	0.884	0.620	172.930
E	175	24089.24	234034.30	4223.46	2.065	-0.896	167.749
E	176	23977.73	232952.22	4219.86	1.331	-0.327	165.829
E	177	23814.02	231885.73	4209.85	2.322	-0.804	163.978
E	178	23614.04	230791.70	4193.75	0.856	0.949	164.243
E	179	23506.94	229706.15	4195.64	-0.648	0.862	170.070
E	180	23484.76	228651.12	4202.21	-0.691	-0.353	171.744
E	181	23474.71	227608.03	4191.78	-0.651	0.608	171.341
F	343	25250.92	227828.63	4195.24	0.692	-0.960	179.844
F	344	25284.28	228606.96	4188.08	0.327	-1.515	180.117
F	345	25313.51	229387.36	4189.19	1.064	-0.864	180.023
F	346	25344.08	230158.59	4188.11	1.036	-1.154	180.411
F	347	25370.96	230933.66	4183.14	0.328	-1.506	180.675

F	348	25406.46	231711.66	4184.95	1.798	-0.793	179.018
F	349	25464.50	232472.15	4188.47	1.438	-1.653	177.272
F	350	25531.52	233240.67	4183.06	0.419	-1.173	177.866
F	351	25584.71	234000.67	4189.97	0.900	-1.800	178.970
F	352	25608.92	234740.62	4194.01	1.567	-1.963	183.400
F	353	25586.35	235482.53	4188.23	0.128	-1.739	185.653
G	250	26811.86	235238.00	4230.79	-2.368	0.255	179.242
G	251	26790.12	234326.28	4225.63	-1.622	-0.589	177.164
G	252	26744.10	233416.75	4233.59	-1.712	0.665	176.728
G	253	26713.03	232514.71	4237.59	-0.361	1.404	178.971
G	254	26693.85	231604.28	4239.86	1.205	0.715	178.850
G	255	26670.77	230658.17	4240.96	0.528	0.242	178.837
G	256	26651.01	229700.05	4246.26	0.637	1.079	178.300
G	257	26661.08	228733.99	4247.32	1.130	1.380	180.985
G	258	26706.21	227749.46	4247.96	0.873	0.947	181.494
H	204	28643.08	228001.81	4247.52	-0.057	0.020	178.741
H	205	28657.13	229144.70	4254.92	-0.726	-2.069	180.379
H	206	28634.27	230214.71	4255.79	0.870	-1.261	181.305
H	207	28599.72	231130.92	4258.87	0.784	0.241	181.150
H	208	28604.66	232028.94	4263.84	0.812	0.191	178.076
H	209	28640.36	232932.49	4266.18	-0.384	-0.080	177.044
H	210	28690.04	233847.78	4270.31	-0.198	-0.823	177.702
H	211	28687.36	234788.50	4269.46	0.319	-0.729	182.126
H	212	28655.98	235735.91	4272.53	-0.320	-1.371	180.142
I	284	30249.69	228172.40	4229.59	-0.820	1.302	182.482
I	285	30262.64	229297.60	4243.26	0.014	-0.069	175.381
I	286	30332.30	230395.09	4237.58	-2.385	-1.927	177.938
I	287	30306.94	231330.36	4235.04	0.172	-0.309	182.429
I	288	30291.03	232237.25	4238.01	0.759	0.277	179.079
I	289	30292.23	233132.05	4236.45	0.547	-0.336	180.181
I	290	30274.28	234068.09	4222.79	-1.690	-0.558	179.230
I	291	30328.47	235040.95	4219.15	-0.409	-0.183	175.216

\*\*\*\*\*  
EO Parameters Residuals  
\*\*\*\*\*

Strip ID	Photo ID	VX	VY	VZ	VOmega	VPhi	VKappa
A	324	74.03	-17.78	19.33	-0.911	0.700	-1.423
A	325	63.74	-35.33	14.07	-0.415	0.482	-1.091
A	326	56.89	-56.82	15.99	-0.374	-0.229	-0.622
A	327	45.05	-73.83	16.99	0.337	0.482	-0.810
A	328	28.49	-78.28	15.00	-0.684	0.426	-1.423
A	329	4.34	-84.40	16.46	-0.861	-0.230	-1.980
D	53	108.38	62.04	89.86	-0.919	-2.369	1.383
D	54	118.89	90.65	92.70	0.655	-2.215	5.448
D	55	90.21	120.03	91.52	0.681	-0.439	4.959
D	56	77.75	140.28	98.59	-0.180	-0.978	4.399
D	57	60.44	164.32	97.23	-0.612	-1.241	5.942
D	58	33.21	201.63	92.91	-0.208	-0.686	5.468
D	59	11.51	248.64	89.81	-0.749	-1.571	5.640
D	60	-33.47	303.11	85.69	-2.390	-1.349	8.297
D	52	52.73	45.32	92.14	-0.752	0.494	-3.989
E	174	61.50	-32.69	18.52	0.884	0.620	-2.510
E	175	127.02	-30.88	7.46	2.065	-0.896	-7.692
E	176	101.58	-33.81	3.86	1.331	-0.327	-9.612
E	177	23.92	-21.16	-6.15	2.322	-0.804	-11.462
E	178	-90.00	-36.04	-22.25	0.856	0.949	-11.197
E	179	-111.03	-42.45	-20.36	-0.648	0.862	-5.370
E	180	-47.16	-18.34	-13.79	-0.691	-0.353	-3.697
E	181	28.85	17.71	-24.22	-0.651	0.608	-4.100
F	343	-62.53	-48.17	-20.76	0.692	-0.960	3.375
F	344	-76.57	-38.07	-27.92	0.327	-1.515	3.648
F	345	-94.75	-25.91	-26.81	1.064	-0.864	3.554
F	346	-111.59	-22.90	-27.89	1.036	-1.154	3.942
F	347	-132.11	-16.07	-32.86	0.328	-1.506	4.206
F	348	-144.02	-6.29	-31.05	1.798	-0.793	2.549
F	349	-133.38	-14.04	-27.53	1.438	-1.653	0.803
F	350	-113.77	-13.75	-32.94	0.419	-1.173	1.397
F	351	-107.98	-21.97	-26.03	0.900	-1.800	2.501
F	352	-131.17	-50.26	-21.99	1.567	-1.963	6.931
F	353	-201.15	-76.58	-27.77	0.128	-1.739	9.184
G	250	8.25	108.71	14.79	-2.368	0.255	1.012

G	251	14.98	118.33	9.63	-1.622	-0.589	-1.066
G	252	-2.57	130.15	17.59	-1.712	0.665	-1.502
G	253	-5.18	149.45	21.59	-0.361	1.404	0.741
G	254	4.12	160.37	23.86	1.205	0.715	0.620
G	255	9.51	135.60	24.96	0.528	0.242	0.607
G	256	18.22	98.82	30.26	0.637	1.079	0.070
G	257	56.76	54.10	31.32	1.130	1.380	2.755
G	258	130.36	-9.09	31.96	0.873	0.947	3.264
H	204	-4.04	-38.44	31.52	-0.057	0.020	-0.629
H	205	-0.54	146.78	38.92	-0.726	-2.069	1.010
H	206	-33.94	259.12	39.79	0.870	-1.261	1.936
H	207	-79.03	217.65	42.87	0.784	0.241	1.781
H	208	-84.64	158.00	47.84	0.812	0.191	-1.294
H	209	-59.49	103.87	50.18	-0.384	-0.080	-2.325
H	210	-20.36	61.50	54.31	-0.198	-0.823	-1.668
H	211	-33.58	44.55	53.46	0.319	-0.729	2.757
H	212	-75.51	34.28	56.53	-0.320	-1.371	0.773
I	284	63.49	36.54	13.59	-0.820	1.302	3.656
I	285	56.28	178.09	27.26	0.014	-0.069	-3.445
I	286	105.80	291.94	21.58	-2.385	-1.927	-0.888
I	287	60.28	243.58	19.04	0.172	-0.309	3.603
I	288	24.22	166.83	22.01	0.759	0.277	0.253
I	289	5.26	77.99	20.45	0.547	-0.336	1.355
I	290	-32.83	30.39	6.79	-1.690	-0.558	0.404
I	291	1.20	19.61	3.15	-0.409	-0.183	-3.610

Feature-Based Matching at 84 um ...

Least Squares Point Tracking at 21 um ...

Clearing Tie Point List at 21 um ...

\*\*\*\*\*  
Performing Bundle Adjustment  
\*\*\*\*\*

StdDev for matched image points: 11 um

Processing 60 photos, 11342 image points measured (11221 automatically, 121 manually)

Blunder detection removed 64 of 11342 image points:

=> 14 of 11221 automatically measured points

=> 50 of 121 manually measured points withheld

Final Sigma: 12.4 um

Display Results ...

Tie Point Statistics:

Per rays

8-fold: 7  
7-fold: 189  
6-fold: 496  
5-fold: 473  
4-fold: 574  
3-fold: 567  
2-fold: 245  
total: 2551

Per photo

Strip A  
Photo 329: 92 IP  
Photo 328: 129 IP  
Photo 327: 147 IP  
Photo 326: 129 IP  
Photo 325: 124 IP  
Photo 324: 82 IP  
Strip D  
Photo 52: 108 IP  
Photo 53: 185 IP  
Photo 54: 185 IP  
Photo 55: 208 IP  
Photo 56: 209 IP  
Photo 57: 204 IP  
Photo 58: 178 IP  
Photo 59: 165 IP  
Photo 60: 125 IP  
Strip E  
Photo 181: 140 IP  
Photo 180: 215 IP  
Photo 179: 206 IP  
Photo 178: 195 IP  
Photo 177: 193 IP  
Photo 176: 189 IP  
Photo 175: 179 IP  
Photo 174: 125 IP  
Strip F  
Photo 343: 178 IP  
Photo 344: 250 IP  
Photo 345: 271 IP  
Photo 346: 279 IP  
Photo 347: 288 IP  
Photo 348: 282 IP  
Photo 349: 281 IP  
Photo 350: 284 IP  
Photo 351: 274 IP  
Photo 352: 223 IP  
Photo 353: 155 IP  
Strip G  
Photo 258: 128 IP  
Photo 257: 197 IP  
Photo 256: 216 IP  
Photo 255: 197 IP  
Photo 254: 179 IP  
Photo 253: 209 IP  
Photo 252: 234 IP  
Photo 251: 215 IP  
Photo 250: 163 IP  
Strip H  
Photo 204: 118 IP  
Photo 205: 179 IP  
Photo 206: 207 IP

Photo 207: 221 IP  
Photo 208: 217 IP  
Photo 209: 213 IP  
Photo 210: 235 IP  
Photo 211: 190 IP  
Photo 212: 99 IP  
Strip I  
Photo 284: 99 IP  
Photo 285: 143 IP  
Photo 286: 145 IP  
Photo 287: 193 IP  
Photo 288: 204 IP  
Photo 289: 211 IP  
Photo 290: 188 IP  
Photo 291: 130 IP

The whole processing time: 0 hours 44 minutes 38 seconds.  
Processing time per photo: 44 seconds

100%

## Anexo K – Relatório final das orientações interna, relativa e absoluta, gerado pelo ISAT

Computing IO solutions.  
Sigma is in microns.

```
Strip Id: D, Photo Id: 53, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 15.13
Strip Id: D, Photo Id: 54, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.21
Strip Id: D, Photo Id: 55, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 13.24
Strip Id: D, Photo Id: 56, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 16.42
Strip Id: D, Photo Id: 57, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 11.61
Strip Id: D, Photo Id: 58, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 13.24
Strip Id: D, Photo Id: 59, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 5.19
Strip Id: D, Photo Id: 60, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.21
Strip Id: E, Photo Id: 174, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 11.61
Strip Id: E, Photo Id: 175, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 15.14
Strip Id: E, Photo Id: 176, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 11.61
Strip Id: E, Photo Id: 177, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 11.62
Strip Id: E, Photo Id: 178, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 11.61
Strip Id: E, Photo Id: 179, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 5.19
Strip Id: E, Photo Id: 180, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 5.19
Strip Id: E, Photo Id: 181, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 5.19
Strip Id: F, Photo Id: 343, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 11.61
Strip Id: F, Photo Id: 344, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 5.19
Strip Id: F, Photo Id: 345, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 16.41
Strip Id: F, Photo Id: 346, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 15.13
Strip Id: F, Photo Id: 347, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 11.61
Strip Id: F, Photo Id: 348, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 5.19
Strip Id: F, Photo Id: 349, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.21
Strip Id: F, Photo Id: 350, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 11.61
Strip Id: F, Photo Id: 351, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 11.61
Strip Id: F, Photo Id: 352, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 10.39
Strip Id: F, Photo Id: 353, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 11.61
Strip Id: G, Photo Id: 250, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.21
Strip Id: G, Photo Id: 251, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 16.43
Strip Id: G, Photo Id: 252, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 5.19
Strip Id: G, Photo Id: 253, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 11.62
Strip Id: G, Photo Id: 254, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.21
Strip Id: G, Photo Id: 255, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 5.19
Strip Id: G, Photo Id: 256, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.21
Strip Id: G, Photo Id: 257, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 7.35
Strip Id: G, Photo Id: 258, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 10.38
Strip Id: H, Photo Id: 204, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 11.62
Strip Id: H, Photo Id: 205, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.21
Strip Id: H, Photo Id: 206, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 5.19
Strip Id: H, Photo Id: 207, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 10.39
Strip Id: H, Photo Id: 208, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.22
Strip Id: H, Photo Id: 209, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 3.67
Strip Id: H, Photo Id: 210, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 15.15
Strip Id: H, Photo Id: 211, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 5.20
Strip Id: H, Photo Id: 212, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.22
Strip Id: A, Photo Id: 324, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.21
Strip Id: A, Photo Id: 325, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 5.19
Strip Id: A, Photo Id: 326, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 3.67
Strip Id: A, Photo Id: 327, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 15.13
Strip Id: A, Photo Id: 328, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.21
Strip Id: A, Photo Id: 329, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.21
Strip Id: I, Photo Id: 284, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 5.19
Strip Id: I, Photo Id: 285, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 11.60
Strip Id: I, Photo Id: 286, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 5.19
Strip Id: I, Photo Id: 287, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 15.14
Strip Id: I, Photo Id: 288, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.21
Strip Id: I, Photo Id: 289, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.21
Strip Id: I, Photo Id: 290, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 8.21
Strip Id: I, Photo Id: 291, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 15.14
Strip Id: D, Photo Id: 52, ITERS: 1, Dof: 2, Sigma: 16.43
```

60 IO solutions computed.

Computing RO solutions.  
Sigma is in microns.

```
Model Id: D-52+D-53, ITERS: 4, Dof: 96, Sigma: 3.49, Num Pts: 101
Model Id: D-53+D-54, ITERS: 4, Dof: 138, Sigma: 3.84, Num Pts: 143
Model Id: D-54+D-55, ITERS: 4, Dof: 124, Sigma: 3.29, Num Pts: 129
Model Id: D-55+D-56, ITERS: 3, Dof: 149, Sigma: 3.93, Num Pts: 154
Model Id: D-56+D-57, ITERS: 4, Dof: 141, Sigma: 3.70, Num Pts: 146
Model Id: D-57+D-58, ITERS: 3, Dof: 141, Sigma: 3.79, Num Pts: 146
Model Id: D-58+D-59, ITERS: 4, Dof: 100, Sigma: 3.86, Num Pts: 105
Model Id: D-59+D-60, ITERS: 4, Dof: 105, Sigma: 3.71, Num Pts: 110
Model Id: E-174+E-175, ITERS: 4, Dof: 95, Sigma: 3.85, Num Pts: 100
Model Id: E-175+E-176, ITERS: 4, Dof: 93, Sigma: 4.94, Num Pts: 98
Model Id: E-176+E-177, ITERS: 4, Dof: 106, Sigma: 3.97, Num Pts: 111
Model Id: E-177+E-178, ITERS: 4, Dof: 102, Sigma: 3.92, Num Pts: 107
Model Id: E-178+E-179, ITERS: 4, Dof: 104, Sigma: 3.49, Num Pts: 109
Model Id: E-179+E-180, ITERS: 4, Dof: 125, Sigma: 4.05, Num Pts: 130
Model Id: E-180+E-181, ITERS: 4, Dof: 117, Sigma: 5.06, Num Pts: 122
Model Id: F-343+F-344, ITERS: 3, Dof: 155, Sigma: 3.02, Num Pts: 160
Model Id: F-344+F-345, ITERS: 3, Dof: 192, Sigma: 3.43, Num Pts: 197
Model Id: F-345+F-346, ITERS: 3, Dof: 190, Sigma: 3.40, Num Pts: 195
Model Id: F-346+F-347, ITERS: 3, Dof: 207, Sigma: 3.70, Num Pts: 212
Model Id: F-347+F-348, ITERS: 4, Dof: 186, Sigma: 3.51, Num Pts: 191
Model Id: F-348+F-349, ITERS: 4, Dof: 199, Sigma: 3.34, Num Pts: 204
Model Id: F-349+F-350, ITERS: 3, Dof: 190, Sigma: 3.50, Num Pts: 195
Model Id: F-350+F-351, ITERS: 3, Dof: 193, Sigma: 3.27, Num Pts: 198
Model Id: F-351+F-352, ITERS: 4, Dof: 189, Sigma: 3.06, Num Pts: 194
Model Id: F-352+F-353, ITERS: 4, Dof: 136, Sigma: 3.32, Num Pts: 141
Model Id: G-250+G-251, ITERS: 4, Dof: 136, Sigma: 3.37, Num Pts: 141
Model Id: G-251+G-252, ITERS: 3, Dof: 143, Sigma: 4.07, Num Pts: 148
Model Id: G-252+G-253, ITERS: 3, Dof: 143, Sigma: 3.71, Num Pts: 149
Model Id: G-253+G-254, ITERS: 3, Dof: 119, Sigma: 3.53, Num Pts: 125
Model Id: G-254+G-255, ITERS: 3, Dof: 110, Sigma: 3.84, Num Pts: 116
Model Id: G-255+G-256, ITERS: 3, Dof: 122, Sigma: 3.30, Num Pts: 127
Model Id: G-256+G-257, ITERS: 3, Dof: 136, Sigma: 4.15, Num Pts: 141
Model Id: G-257+G-258, ITERS: 3, Dof: 101, Sigma: 3.60, Num Pts: 106
Model Id: H-204+H-205, ITERS: 3, Dof: 89, Sigma: 3.59, Num Pts: 94
Model Id: H-205+H-206, ITERS: 3, Dof: 110, Sigma: 4.31, Num Pts: 115
Model Id: H-206+H-207, ITERS: 3, Dof: 133, Sigma: 3.56, Num Pts: 140
Model Id: H-207+H-208, ITERS: 3, Dof: 140, Sigma: 3.36, Num Pts: 145
Model Id: H-208+H-209, ITERS: 3, Dof: 142, Sigma: 2.75, Num Pts: 148
Model Id: H-209+H-210, ITERS: 3, Dof: 149, Sigma: 4.82, Num Pts: 154
Model Id: H-210+H-211, ITERS: 3, Dof: 147, Sigma: 3.25, Num Pts: 152
```

```

Model Id: H~211+H~212, ITERS: 3, Dof: 94, Sigma: 3.96, Num Pts: 99
Model Id: A~324+A~325, ITERS: 3, Dof: 78, Sigma: 5.75, Num Pts: 83
Model Id: A~325+A~326, ITERS: 3, Dof: 82, Sigma: 3.88, Num Pts: 87
Model Id: A~326+A~327, ITERS: 3, Dof: 80, Sigma: 4.32, Num Pts: 85
Model Id: A~327+A~328, ITERS: 3, Dof: 84, Sigma: 4.94, Num Pts: 89
Model Id: A~328+A~329, ITERS: 3, Dof: 80, Sigma: 5.67, Num Pts: 85
Model Id: I~284+I~285, ITERS: 4, Dof: 79, Sigma: 4.25, Num Pts: 84
Model Id: I~285+I~286, ITERS: 3, Dof: 90, Sigma: 3.25, Num Pts: 97
Model Id: I~286+I~287, ITERS: 3, Dof: 84, Sigma: 4.02, Num Pts: 91
Model Id: I~287+I~288, ITERS: 3, Dof: 122, Sigma: 4.69, Num Pts: 127
Model Id: I~288+I~289, ITERS: 3, Dof: 132, Sigma: 3.89, Num Pts: 137
Model Id: I~289+I~290, ITERS: 3, Dof: 126, Sigma: 3.93, Num Pts: 131
Model Id: I~290+I~291, ITERS: 3, Dof: 108, Sigma: 3.87, Num Pts: 113

```

53 RO Solutions computed.

Computing AO solutions.  
RMS is in meters.

```

Model Id: D~52+D~53, ITERS: 3, Dof: 296, Sigma: 17.62, Num Pts: 101, RMS (X: 0.118, Y: 0.100, Z: 0.314, XY: 0.109)
Model Id: D~53+D~54, ITERS: 3, Dof: 422, Sigma: 26.45, Num Pts: 143, RMS (X: 0.183, Y: 0.123, Z: 0.411, XY: 0.156)
Model Id: D~54+D~55, ITERS: 3, Dof: 380, Sigma: 16.53, Num Pts: 129, RMS (X: 0.094, Y: 0.070, Z: 0.317, XY: 0.083)
Model Id: D~55+D~56, ITERS: 3, Dof: 455, Sigma: 26.36, Num Pts: 154, RMS (X: 0.171, Y: 0.131, Z: 0.327, XY: 0.153)
Model Id: D~56+D~57, ITERS: 3, Dof: 431, Sigma: 23.40, Num Pts: 146, RMS (X: 0.159, Y: 0.110, Z: 0.326, XY: 0.137)
Model Id: D~57+D~58, ITERS: 3, Dof: 431, Sigma: 29.30, Num Pts: 146, RMS (X: 0.217, Y: 0.116, Z: 0.357, XY: 0.174)
Model Id: D~58+D~59, ITERS: 3, Dof: 308, Sigma: 22.65, Num Pts: 105, RMS (X: 0.151, Y: 0.117, Z: 0.357, XY: 0.135)
Model Id: D~59+D~60, ITERS: 3, Dof: 323, Sigma: 17.75, Num Pts: 110, RMS (X: 0.120, Y: 0.085, Z: 0.304, XY: 0.104)
Model Id: E~174+E~175, ITERS: 3, Dof: 293, Sigma: 15.29, Num Pts: 100, RMS (X: 0.095, Y: 0.072, Z: 0.289, XY: 0.084)
Model Id: E~175+E~176, ITERS: 3, Dof: 287, Sigma: 21.12, Num Pts: 98, RMS (X: 0.112, Y: 0.076, Z: 0.290, XY: 0.096)
Model Id: E~176+E~177, ITERS: 3, Dof: 326, Sigma: 25.35, Num Pts: 111, RMS (X: 0.136, Y: 0.095, Z: 0.342, XY: 0.117)
Model Id: E~177+E~178, ITERS: 3, Dof: 314, Sigma: 25.71, Num Pts: 107, RMS (X: 0.158, Y: 0.099, Z: 0.253, XY: 0.132)
Model Id: E~178+E~179, ITERS: 3, Dof: 320, Sigma: 25.52, Num Pts: 109, RMS (X: 0.151, Y: 0.091, Z: 0.253, XY: 0.125)
Model Id: E~179+E~180, ITERS: 3, Dof: 383, Sigma: 28.89, Num Pts: 130, RMS (X: 0.169, Y: 0.118, Z: 0.328, XY: 0.146)
Model Id: E~180+E~181, ITERS: 3, Dof: 359, Sigma: 24.32, Num Pts: 122, RMS (X: 0.164, Y: 0.092, Z: 0.368, XY: 0.133)
Model Id: F~343+F~344, ITERS: 3, Dof: 473, Sigma: 21.45, Num Pts: 160, RMS (X: 0.127, Y: 0.107, Z: 0.306, XY: 0.118)
Model Id: F~344+F~345, ITERS: 3, Dof: 584, Sigma: 21.06, Num Pts: 197, RMS (X: 0.115, Y: 0.086, Z: 0.320, XY: 0.102)
Model Id: F~345+F~346, ITERS: 3, Dof: 578, Sigma: 25.51, Num Pts: 195, RMS (X: 0.143, Y: 0.088, Z: 0.354, XY: 0.119)
Model Id: F~346+F~347, ITERS: 3, Dof: 629, Sigma: 37.22, Num Pts: 212, RMS (X: 0.203, Y: 0.151, Z: 0.423, XY: 0.179)
Model Id: F~347+F~348, ITERS: 3, Dof: 566, Sigma: 30.36, Num Pts: 191, RMS (X: 0.150, Y: 0.118, Z: 0.484, XY: 0.135)
Model Id: F~348+F~349, ITERS: 3, Dof: 605, Sigma: 31.78, Num Pts: 204, RMS (X: 0.163, Y: 0.118, Z: 0.464, XY: 0.142)
Model Id: F~349+F~350, ITERS: 3, Dof: 578, Sigma: 28.21, Num Pts: 195, RMS (X: 0.169, Y: 0.105, Z: 0.385, XY: 0.141)
Model Id: F~350+F~351, ITERS: 3, Dof: 587, Sigma: 38.08, Num Pts: 198, RMS (X: 0.216, Y: 0.161, Z: 0.398, XY: 0.190)
Model Id: F~351+F~352, ITERS: 3, Dof: 575, Sigma: 24.17, Num Pts: 194, RMS (X: 0.128, Y: 0.094, Z: 0.382, XY: 0.112)
Model Id: F~352+F~353, ITERS: 3, Dof: 416, Sigma: 24.47, Num Pts: 141, RMS (X: 0.166, Y: 0.097, Z: 0.447, XY: 0.136)
Model Id: G~250+G~251, ITERS: 3, Dof: 416, Sigma: 28.01, Num Pts: 141, RMS (X: 0.151, Y: 0.137, Z: 0.334, XY: 0.144)
Model Id: G~251+G~252, ITERS: 3, Dof: 437, Sigma: 30.39, Num Pts: 148, RMS (X: 0.149, Y: 0.129, Z: 0.414, XY: 0.139)
Model Id: G~252+G~253, ITERS: 3, Dof: 437, Sigma: 26.14, Num Pts: 149, RMS (X: 0.114, Y: 0.110, Z: 0.342, XY: 0.112)
Model Id: G~253+G~254, ITERS: 3, Dof: 365, Sigma: 32.40, Num Pts: 125, RMS (X: 0.140, Y: 0.125, Z: 0.443, XY: 0.133)
Model Id: G~254+G~255, ITERS: 3, Dof: 338, Sigma: 30.20, Num Pts: 116, RMS (X: 0.147, Y: 0.120, Z: 0.374, XY: 0.134)
Model Id: G~255+G~256, ITERS: 3, Dof: 374, Sigma: 26.85, Num Pts: 127, RMS (X: 0.135, Y: 0.119, Z: 0.372, XY: 0.128)
Model Id: G~256+G~257, ITERS: 3, Dof: 416, Sigma: 31.09, Num Pts: 141, RMS (X: 0.166, Y: 0.144, Z: 0.384, XY: 0.155)
Model Id: G~257+G~258, ITERS: 3, Dof: 311, Sigma: 24.57, Num Pts: 106, RMS (X: 0.175, Y: 0.100, Z: 0.352, XY: 0.142)
Model Id: H~204+H~205, ITERS: 2, Dof: 275, Sigma: 15.60, Num Pts: 94, RMS (X: 0.097, Y: 0.068, Z: 0.250, XY: 0.084)
Model Id: H~205+H~206, ITERS: 3, Dof: 338, Sigma: 33.71, Num Pts: 115, RMS (X: 0.183, Y: 0.157, Z: 0.426, XY: 0.170)
Model Id: H~206+H~207, ITERS: 3, Dof: 407, Sigma: 26.79, Num Pts: 140, RMS (X: 0.133, Y: 0.108, Z: 0.409, XY: 0.121)
Model Id: H~207+H~208, ITERS: 3, Dof: 428, Sigma: 30.98, Num Pts: 145, RMS (X: 0.173, Y: 0.139, Z: 0.311, XY: 0.157)
Model Id: H~208+H~209, ITERS: 3, Dof: 434, Sigma: 26.72, Num Pts: 148, RMS (X: 0.154, Y: 0.102, Z: 0.291, XY: 0.130)
Model Id: H~209+H~210, ITERS: 3, Dof: 455, Sigma: 25.34, Num Pts: 154, RMS (X: 0.126, Y: 0.077, Z: 0.361, XY: 0.104)
Model Id: H~210+H~211, ITERS: 3, Dof: 449, Sigma: 25.72, Num Pts: 152, RMS (X: 0.137, Y: 0.081, Z: 0.404, XY: 0.113)
Model Id: H~211+H~212, ITERS: 3, Dof: 290, Sigma: 17.06, Num Pts: 99, RMS (X: 0.107, Y: 0.076, Z: 0.304, XY: 0.093)
Model Id: A~324+A~325, ITERS: 3, Dof: 242, Sigma: 19.27, Num Pts: 83, RMS (X: 0.167, Y: 0.119, Z: 0.365, XY: 0.145)
Model Id: A~325+A~326, ITERS: 3, Dof: 254, Sigma: 23.40, Num Pts: 87, RMS (X: 0.194, Y: 0.116, Z: 0.389, XY: 0.160)
Model Id: A~326+A~327, ITERS: 3, Dof: 248, Sigma: 18.65, Num Pts: 85, RMS (X: 0.139, Y: 0.113, Z: 0.280, XY: 0.127)
Model Id: A~327+A~328, ITERS: 3, Dof: 260, Sigma: 23.48, Num Pts: 89, RMS (X: 0.187, Y: 0.117, Z: 0.353, XY: 0.156)
Model Id: A~328+A~329, ITERS: 3, Dof: 248, Sigma: 21.89, Num Pts: 85, RMS (X: 0.197, Y: 0.123, Z: 0.360, XY: 0.164)
Model Id: I~284+I~285, ITERS: 3, Dof: 245, Sigma: 9.50, Num Pts: 84, RMS (X: 0.074, Y: 0.049, Z: 0.180, XY: 0.063)
Model Id: I~285+I~286, ITERS: 2, Dof: 278, Sigma: 15.45, Num Pts: 97, RMS (X: 0.086, Y: 0.069, Z: 0.313, XY: 0.078)
Model Id: I~286+I~287, ITERS: 3, Dof: 260, Sigma: 26.50, Num Pts: 91, RMS (X: 0.154, Y: 0.100, Z: 0.439, XY: 0.130)
Model Id: I~287+I~288, ITERS: 3, Dof: 374, Sigma: 31.48, Num Pts: 127, RMS (X: 0.176, Y: 0.100, Z: 0.551, XY: 0.143)
Model Id: I~288+I~289, ITERS: 3, Dof: 404, Sigma: 31.51, Num Pts: 137, RMS (X: 0.180, Y: 0.095, Z: 0.408, XY: 0.144)
Model Id: I~289+I~290, ITERS: 3, Dof: 386, Sigma: 22.73, Num Pts: 131, RMS (X: 0.132, Y: 0.066, Z: 0.345, XY: 0.105)
Model Id: I~290+I~291, ITERS: 3, Dof: 332, Sigma: 23.24, Num Pts: 113, RMS (X: 0.149, Y: 0.073, Z: 0.330, XY: 0.117)

```

53 AO Solutions computed.

## **Anexo L – Fichas definitivas dos pontos fotogramétricos**

## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF1**

Data de aquisição: 09/03/2012

Descrição:

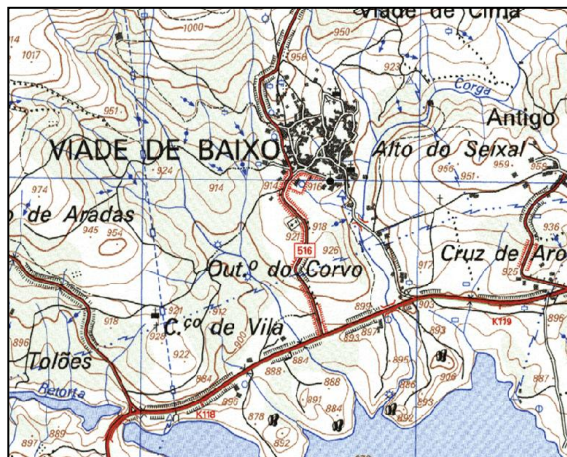
Em Viade de Baixo, na esquina E do muro do cemitério.

Coordenadas **ETRS89**:

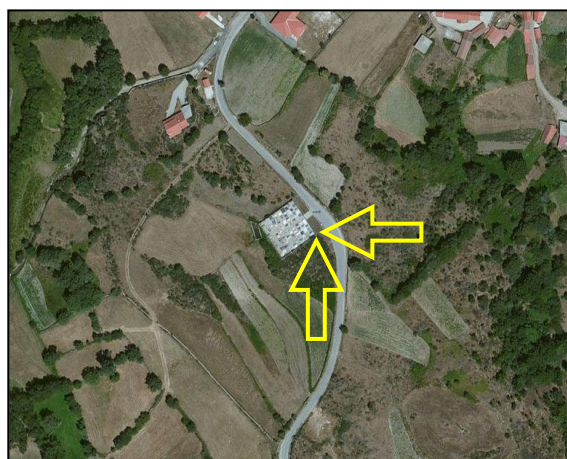
$\varphi = 41^\circ 45' 31.92657''$

$\lambda = -7^\circ 51' 49.68030''$

$h = 976.646 \text{ m}$



Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF2**

Data de aquisição: 09/03/2012

Descrição:

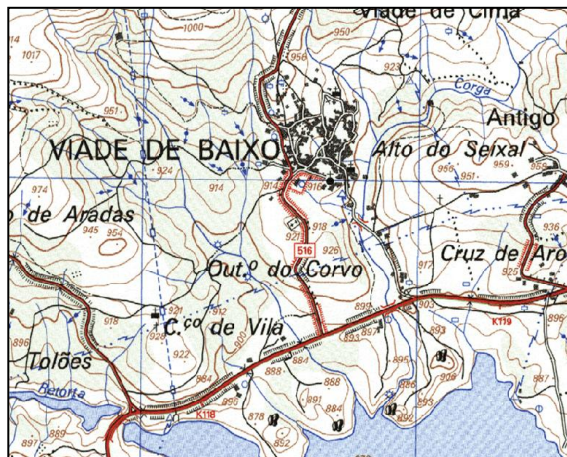
Em Viade de Baixo, na esquina N do muro do cemitério.

Coordenadas **ETRS89**:

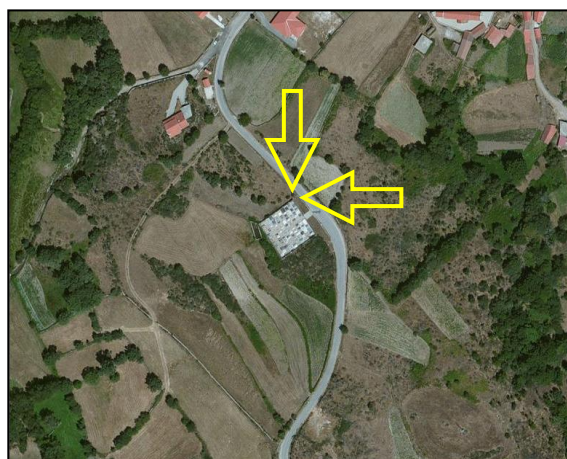
$\varphi = 41^\circ 45' 32.72073''$

$\lambda = -7^\circ 51' 50.43916''$

$h = 976.171 \text{ m}$



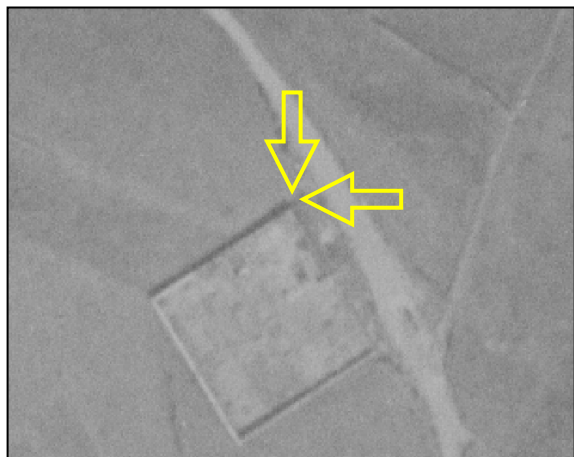
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF3**

Data de aquisição: 11/03/2012

Descrição:

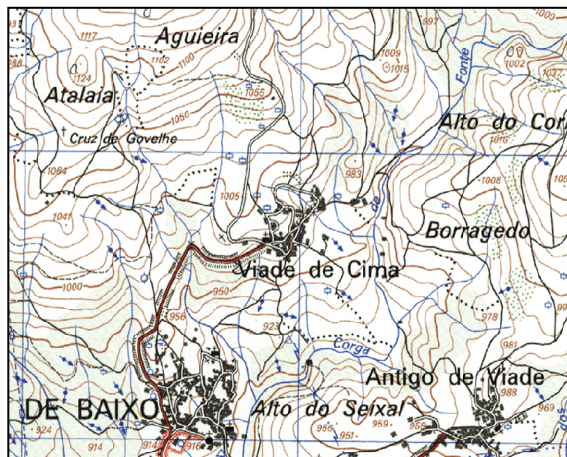
Em Viade de Cima, na esquina N do beiral da casa.

Coordenadas **ETRS89**:

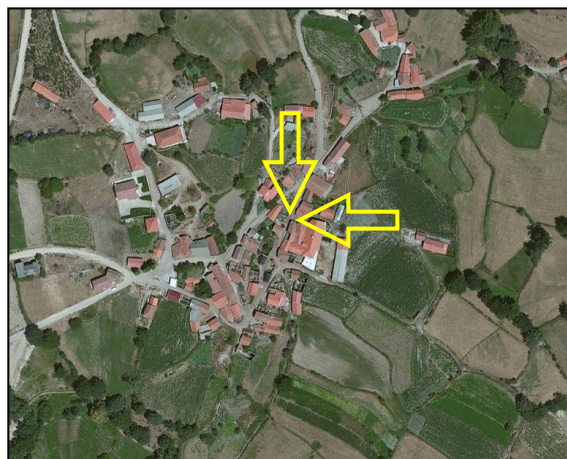
$\varphi = 41^\circ 46' 00.12471''$

$\lambda = -7^\circ 51' 31.40009''$

$h = 1023.819 \text{ m}$



Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF4**

Data de aquisição: 09/03/2012

Descrição:

Em Antigo de Viade, na esquina N do muro do cemitério.

Coordenadas **ETRS89**:

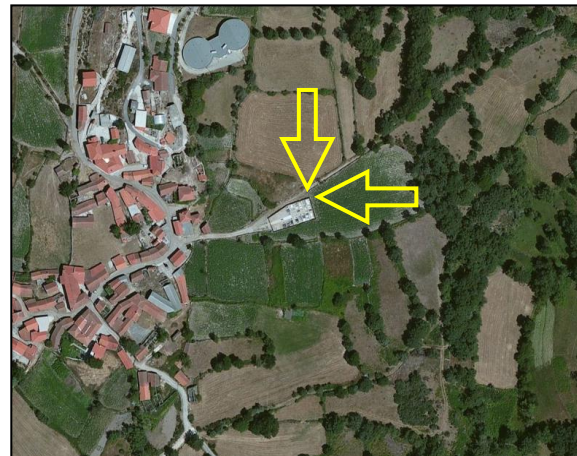
$\varphi = 41^\circ 45' 39.82373''$

$\lambda = -7^\circ 50' 56.03268''$

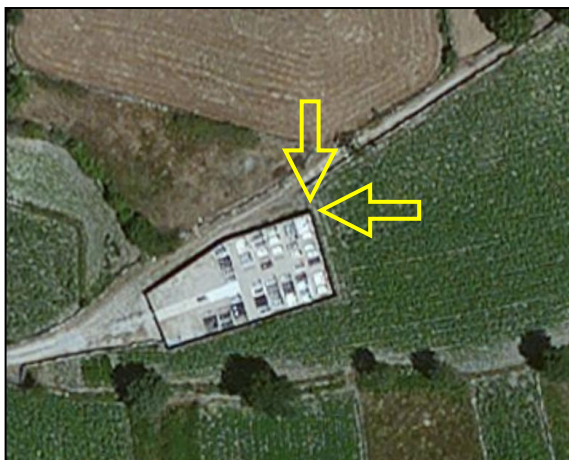
$h = 1026.172 \text{ m}$



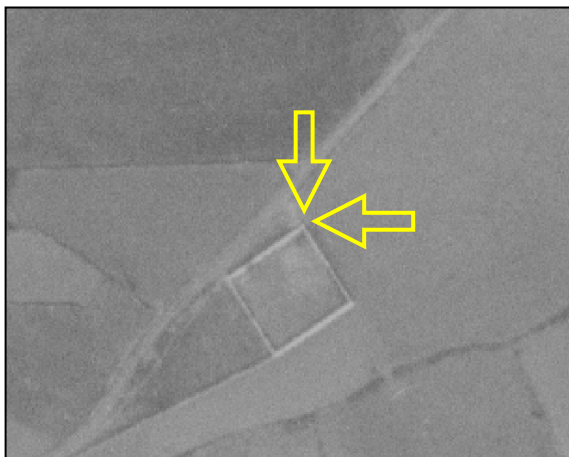
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF5**

Data de aquisição: 09/03/2012

Descrição:

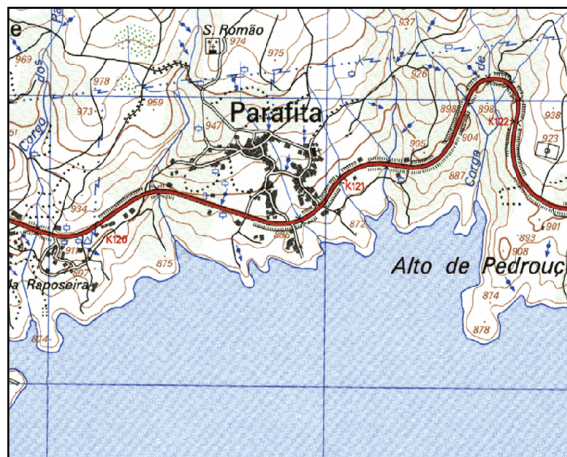
Na Parafita, na esquina N do beiral da casa.

Coordenadas **ETRS89**:

$\varphi = 41^\circ 45' 19.98271''$

$\lambda = -7^\circ 50' 09.94961''$

$h = 938.609 \text{ m}$



Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF6**

Data de aquisição: 09/03/2012

Descrição:

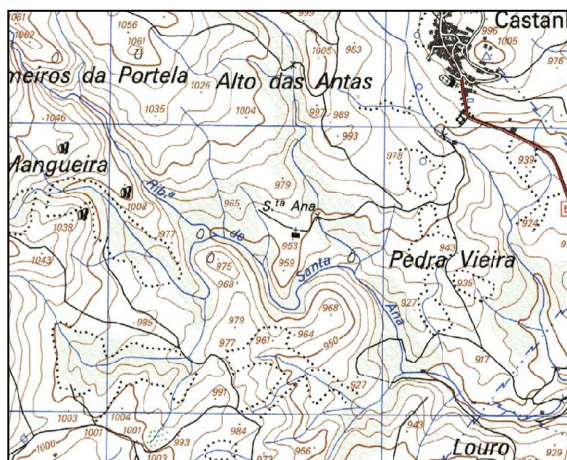
A SO de Castanheira da Chã, no beiral da esquina N da Igreja de Sta. Ana.

Coordenadas **ETRS89**:

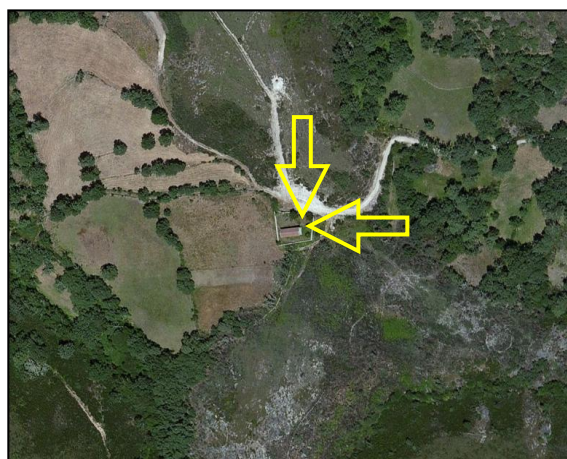
$\varphi = 41^\circ 46' 27.73896''$

$\lambda = -7^\circ 48' 50.99033''$

$h = 1008.043 \text{ m}$



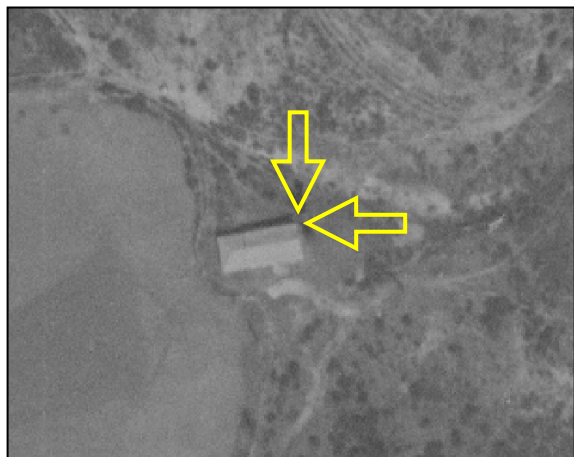
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF7**

Data de aquisição: 10/03/2012

Descrição:

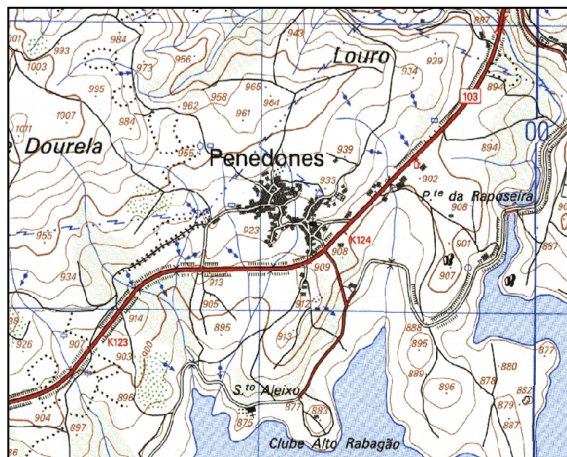
Em Penedones, na esquina E do beiral da casa.

Coordenadas **ETRS89**:

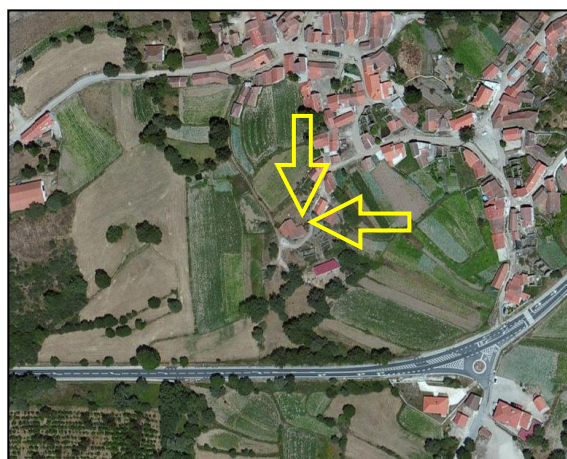
$\varphi = 41^\circ 45' 42.96802''$

$\lambda = -7^\circ 48' 36.88659''$

$h = 978.624 \text{ m}$



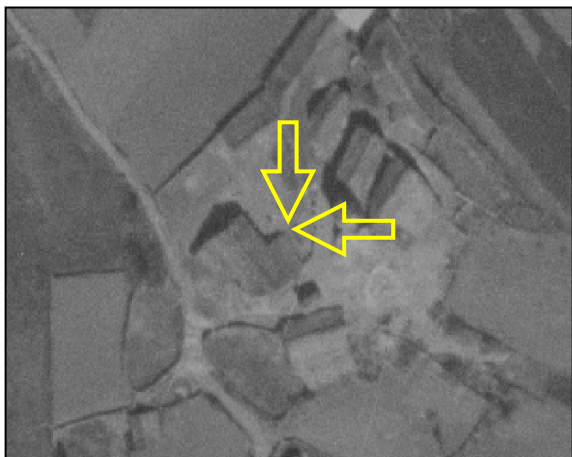
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF8**

Data de aquisição: 10/03/2012

Descrição:

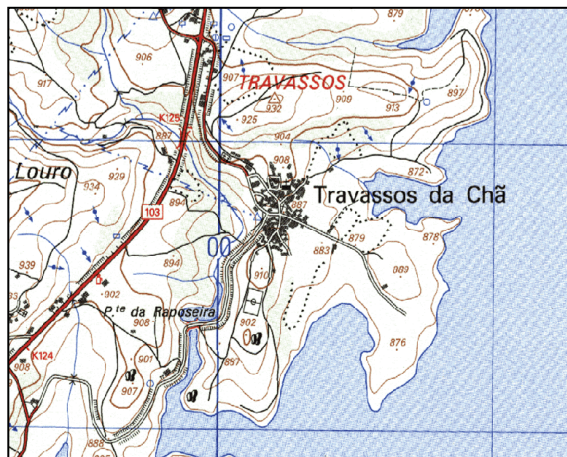
Em Travassos da Chã, na esquina S da casa.

Coordenadas **ETRS89**:

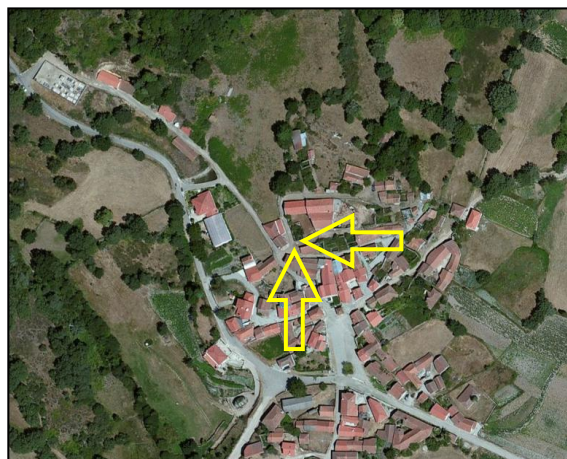
$\varphi = 41^\circ 46' 01.87241''$

$\lambda = -7^\circ 47' 46.50852''$

$h = 952.018 \text{ m}$



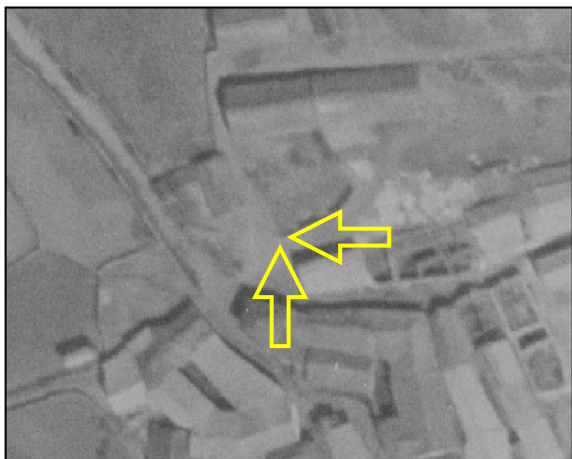
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF9**

Data de aquisição: 09/03/2012

Descrição:

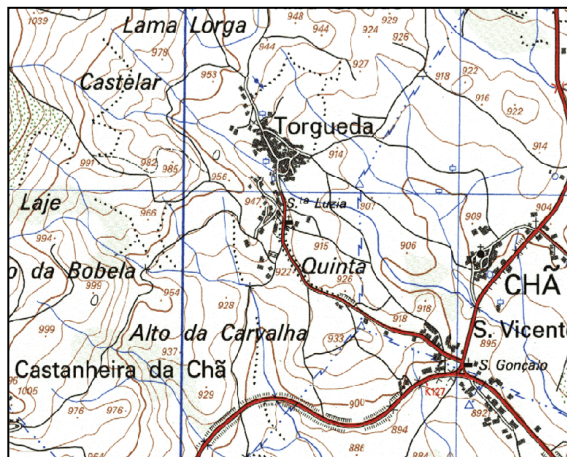
Na Torgueda, na esquina N do beiral da Igreja de Sta. Luzia.

Coordenadas **ETRS89**:

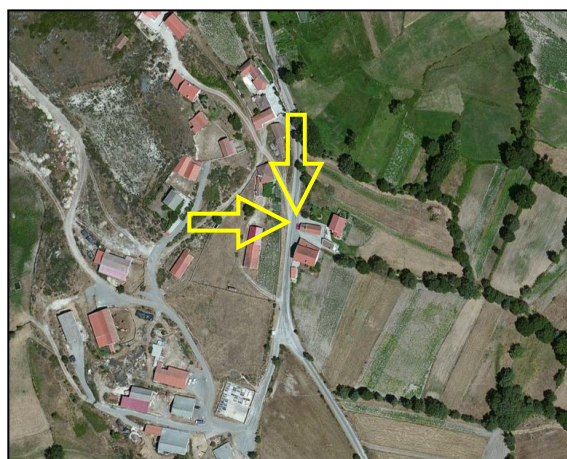
$\varphi = 41^\circ 47' 08.11718''$

$\lambda = -7^\circ 47' 37.25630''$

$h = 978.787 \text{ m}$



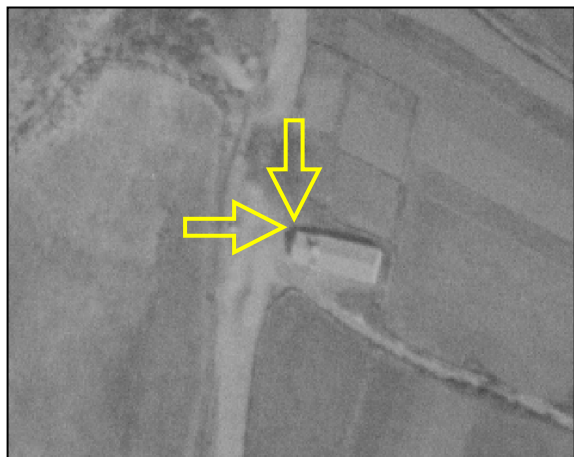
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF10**

Data de aquisição: 09/03/2012

Descrição:

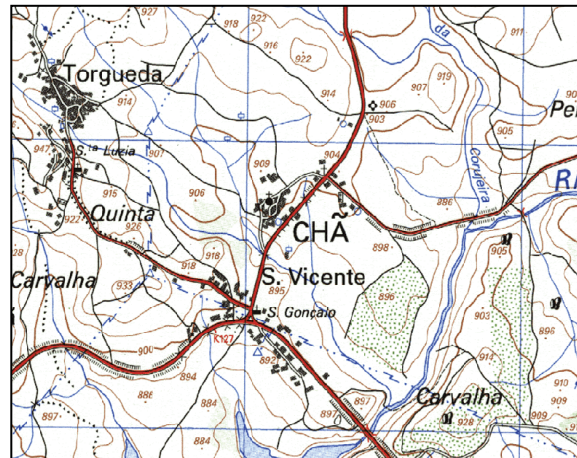
Na Chã, na esquina N do beiral da casa.

Coordenadas **ETRS89**:

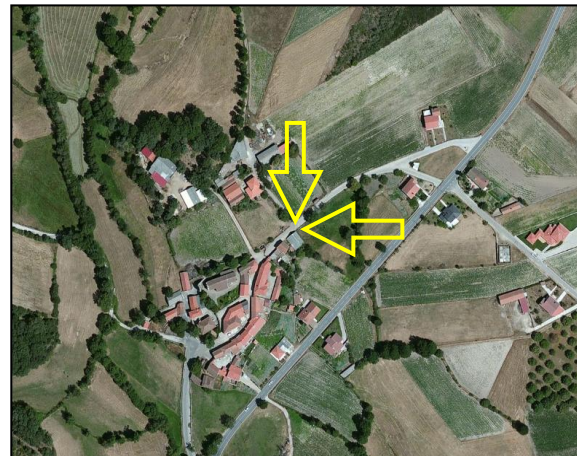
$\varphi = 41^\circ 47' 05.91284''$

$\lambda = -7^\circ 47' 03.60594''$

$h = 958.246 \text{ m}$



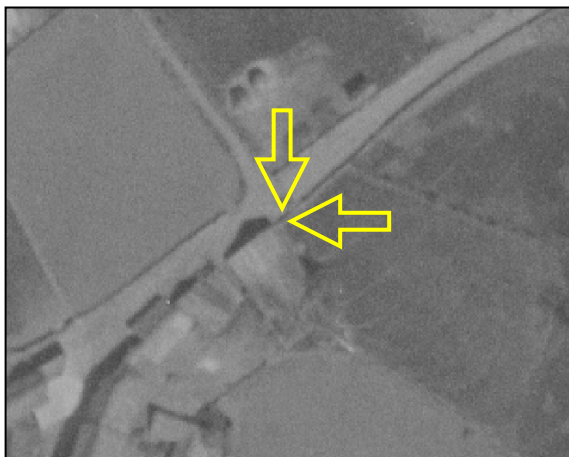
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF11**

Data de aquisição: 09/03/2012

Descrição:

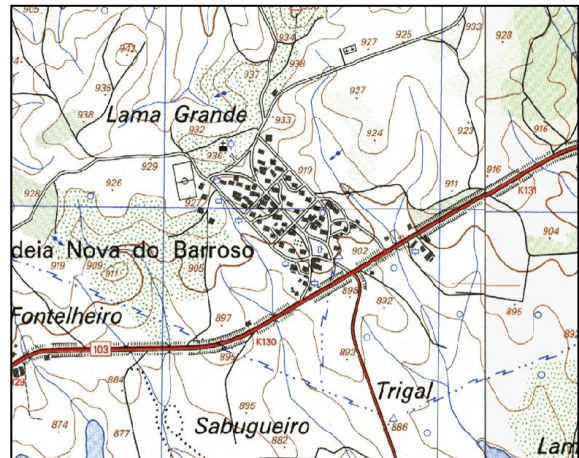
Na Aldeia Nova do Barroso, na esquina S do beiral da casa.

Coordenadas **ETRS89**:

$\varphi = 41^\circ 46' 38.52032''$

$\lambda = -7^\circ 45' 21.36365''$

$h = 972.269 \text{ m}$



Localização na folha



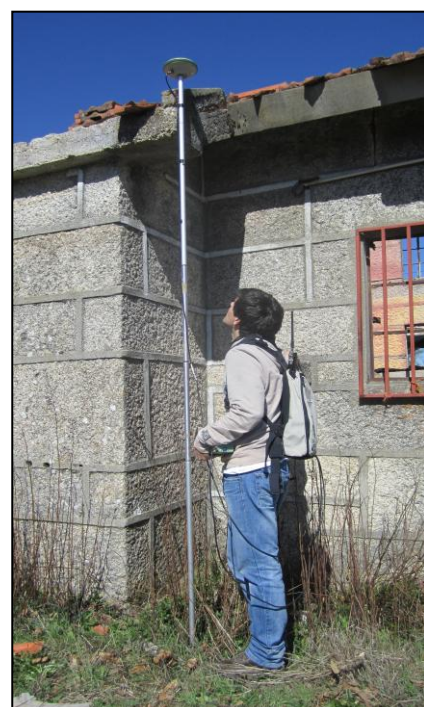
Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF12**

Data de aquisição: 11/03/2012

Descrição:

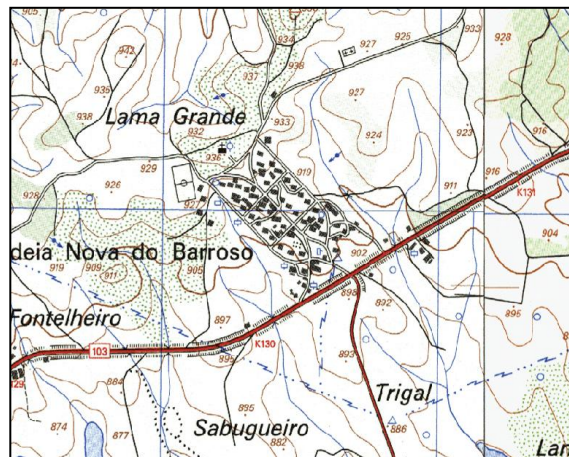
Na Aldeia Nova do Barroso, na esquina E do beiral da casa.

Coordenadas **ETRS89**:

$\varphi = 41^\circ 46' 39.00844''$

$\lambda = -7^\circ 45' 21.72740''$

$h = 972.409 \text{ m}$



Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF13**

Data de aquisição: 09/03/2012

Descrição:

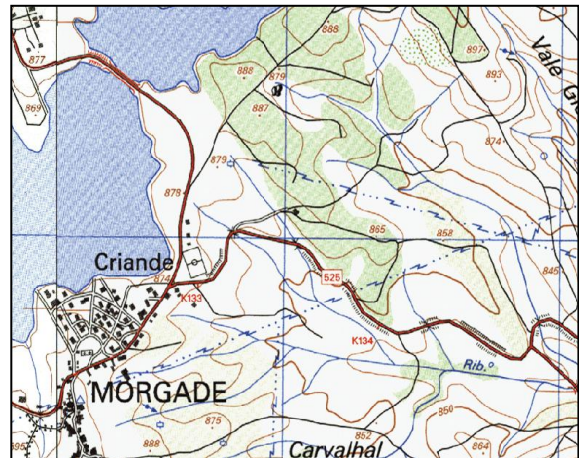
A E de Criande, na esquina E do muro.

Coordenadas **ETRS89**:

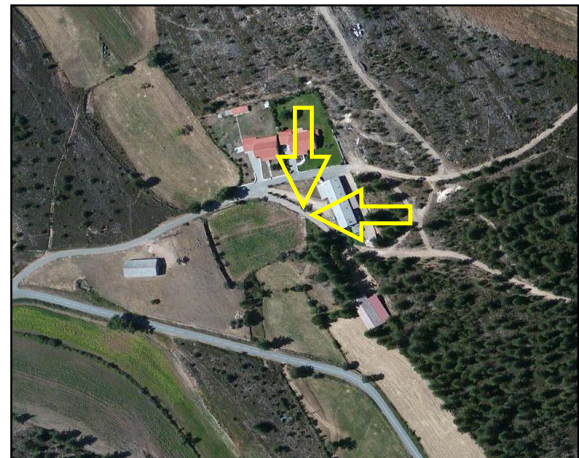
$\varphi = 41^\circ 45' 34.85659''$

$\lambda = -7^\circ 44' 16.86464''$

$h = 919.886 \text{ m}$



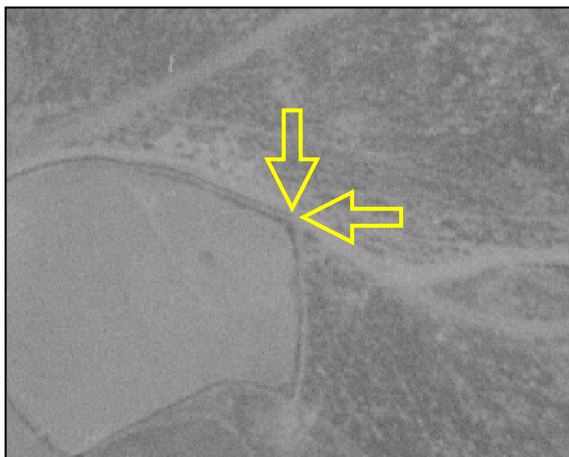
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF14**

Data de aquisição: 09/03/2012

Descrição:

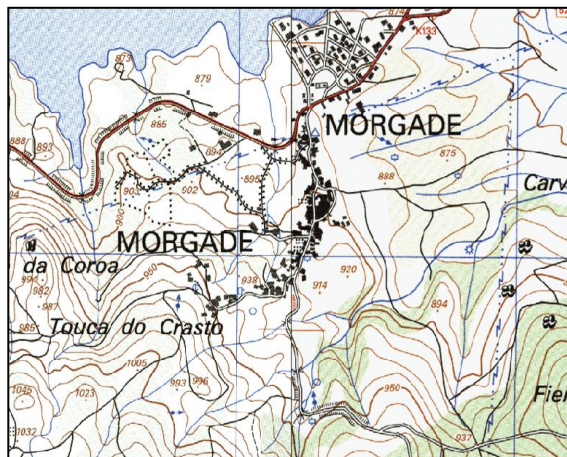
Em Morgade, na esquina N do tanque.

Coordenadas **ETRS89**:

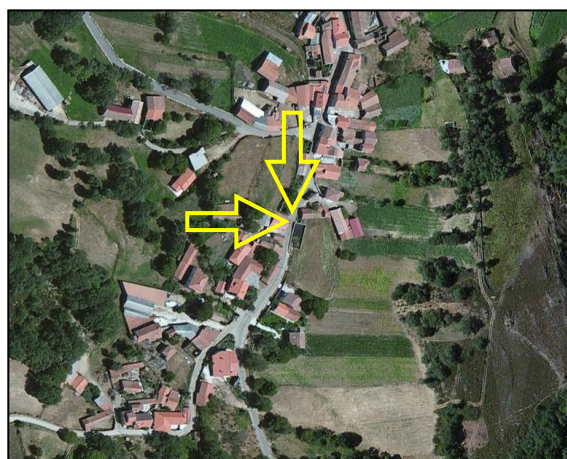
$\varphi = 41^\circ 45' 00.38892''$

$\lambda = -7^\circ 44' 52.22923''$

$h = 972.153 \text{ m}$



Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF15**

Data de aquisição: 11/03/2012

Descrição:

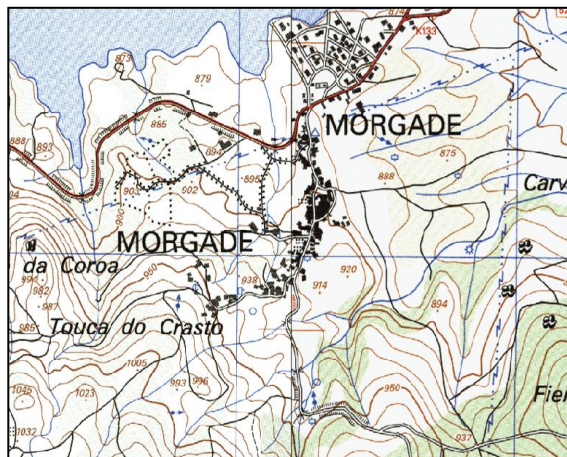
Em Morgade, na esquina O do tanque.

Coordenadas **ETRS89**:

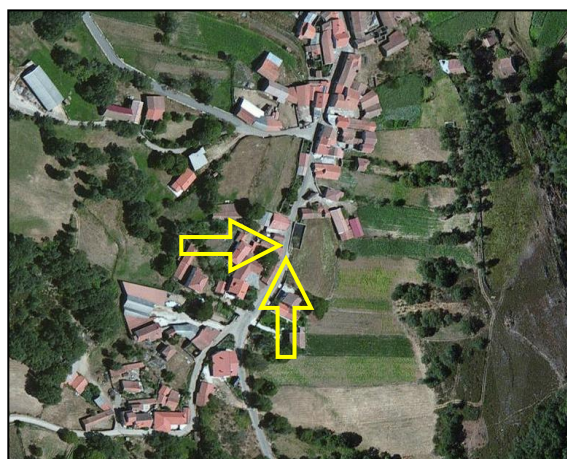
$\varphi = 41^\circ 44' 59.81755''$

$\lambda = -7^\circ 44' 52.40706''$

$h = 973.521 \text{ m}$



Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF16**

Data de aquisição: 11/03/2012

Descrição:

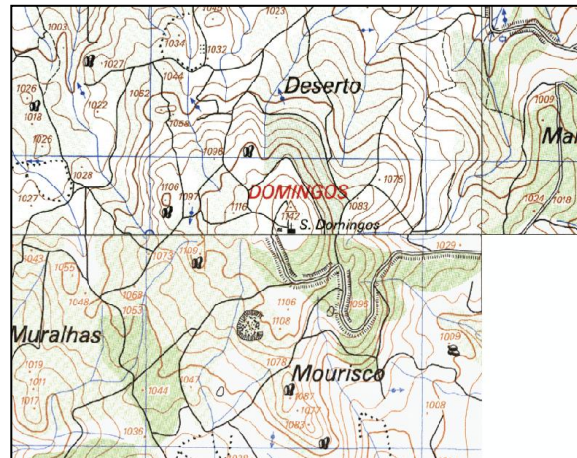
No vértice geodésico S. Domingos -  
Montalegre.

Coordenadas **ETRS89**:

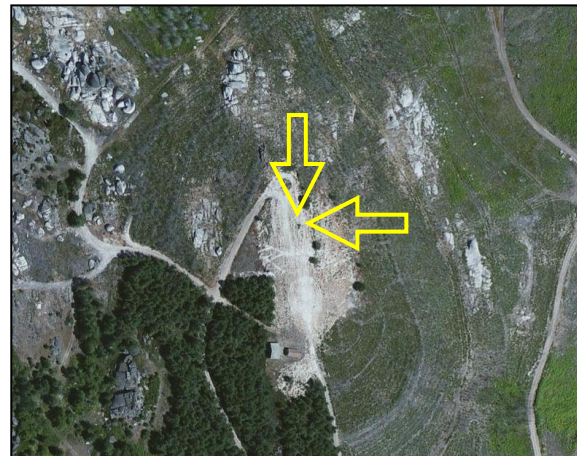
$\varphi = 41^\circ 44' 22.56496''$

$\lambda = -7^\circ 45' 24.66977''$

$h = 1201.885 \text{ m}$



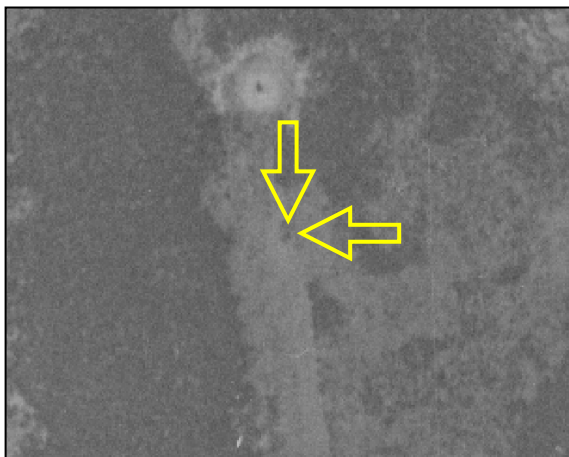
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF18**

Data de aquisição: 11/03/2012

Descrição:

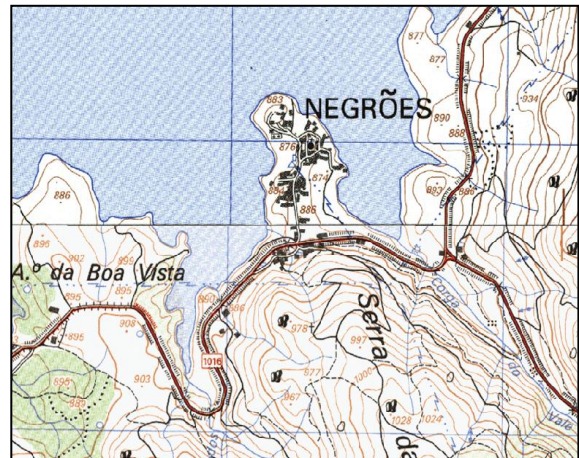
Em Negrões, na esquina E do beiral do espigueiro.

Coordenadas **ETRS89**:

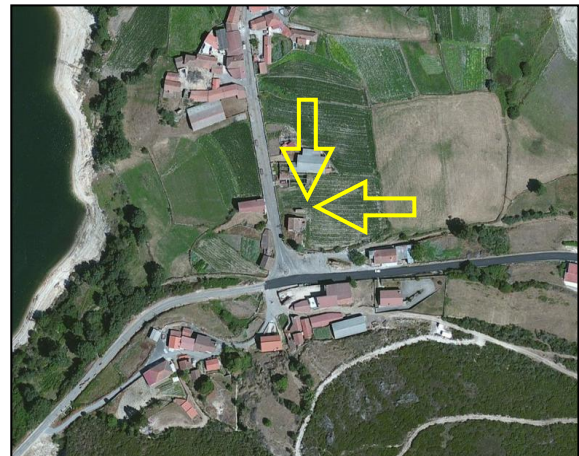
$\varphi = 41^\circ 44' 19.50757''$

$\lambda = -7^\circ 47' 01.58671''$

$h = 945.036 \text{ m}$



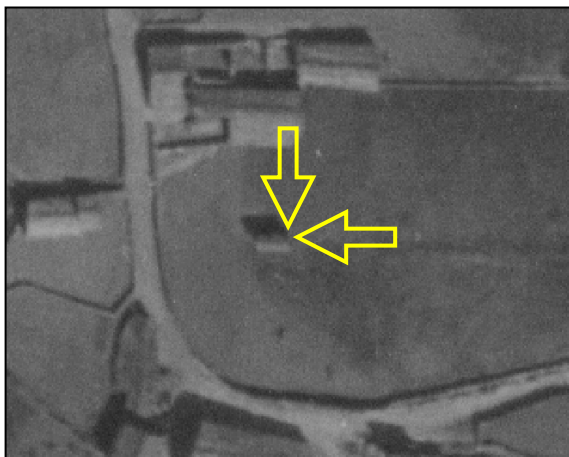
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF19**

Data de aquisição: 11/03/2012

Descrição:

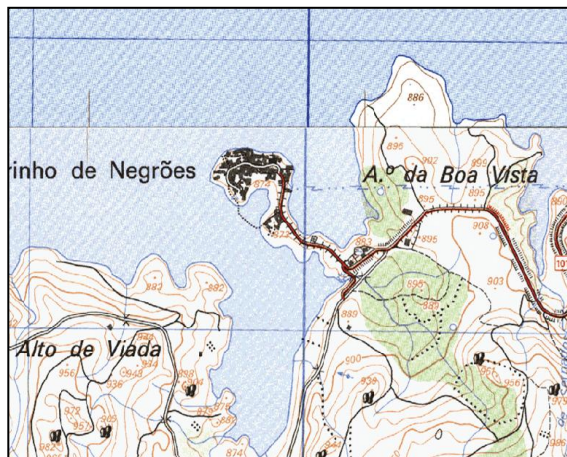
Em Vilarinho de Negrões, no cruzamento dos muros.

Coordenadas **ETRS89**:

$\varphi = 41^\circ 44' 11.20052''$

$\lambda = -7^\circ 48' 00.93093''$

$h = 929.902 \text{ m}$



Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF20**

Data de aquisição: 11/03/2012

Descrição:

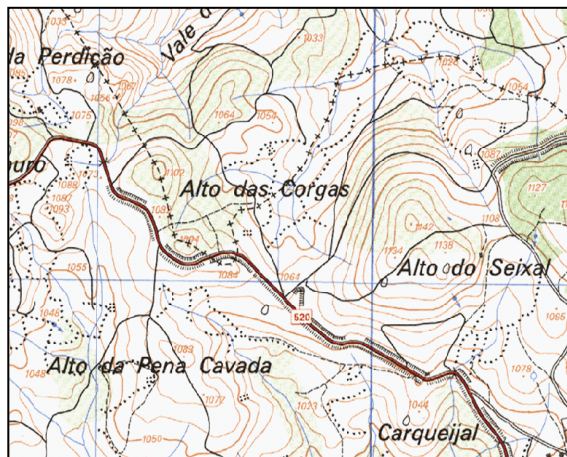
A SO de Vilarinho de Negrões, no  
cruzamento dos muros.

Coordenadas **ETRS89**:

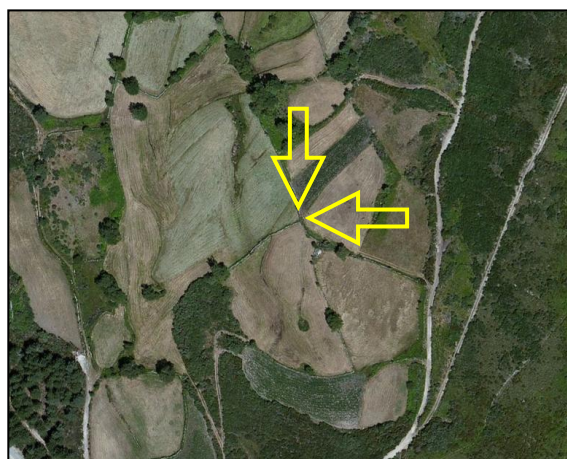
$\varphi = 41^\circ 42' 59.77624''$

$\lambda = -7^\circ 48' 08.65101''$

$h = 1100.850 \text{ m}$



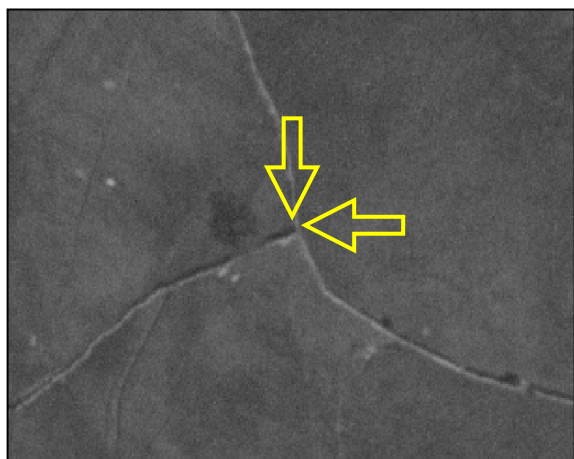
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF21**

Data de aquisição: 11/03/2012

Descrição:

A O de Vilarinho de Negrões, na esquina O do beiral da casa.

Coordenadas **ETRS89**:

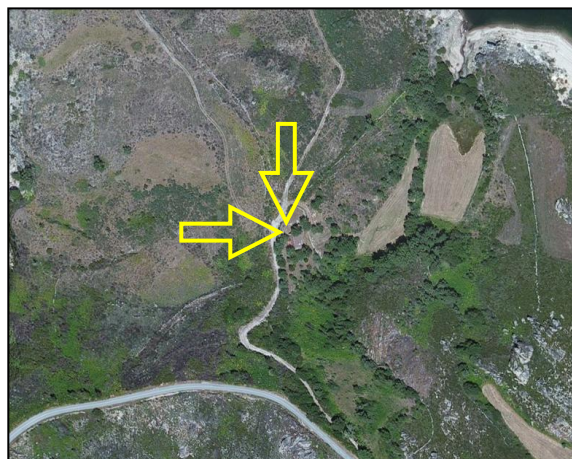
$\varphi = 41^\circ 44' 04.03926''$

$\lambda = -7^\circ 48' 57.00012''$

$h = 946.492 \text{ m}$



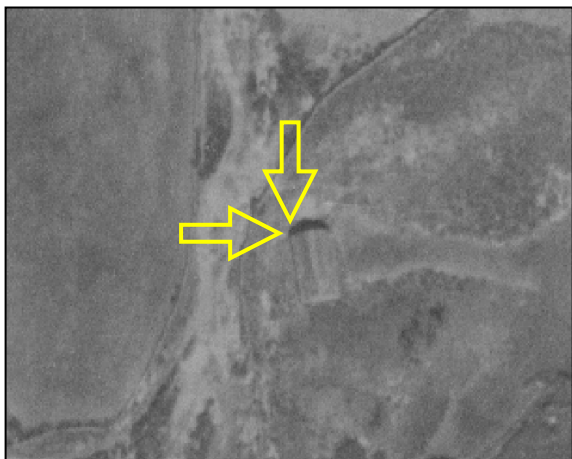
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF23**

Data de aquisição: 11/03/2012

Descrição:

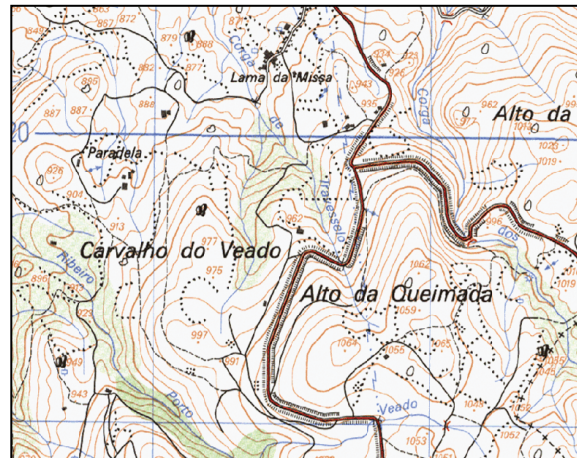
A S de Lama da Missa, na esquina O do  
beiral da casa.

Coordenadas **ETRS89**:

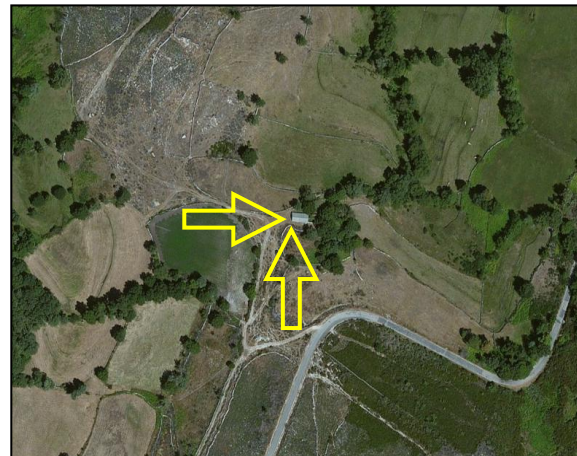
$\varphi = 41^\circ 43' 15.73450''$

$\lambda = -7^\circ 51' 11.67524''$

$h = 1019.552 \text{ m}$



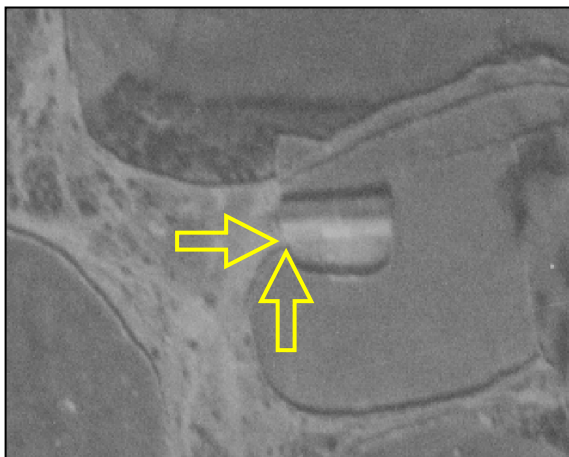
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF24**

Data de aquisição: 11/03/2012

Descrição:

A E de Lama da Missa, na esquina do muro.

Coordenadas **ETRS89**:

$\varphi = 41^\circ 43' 33.49598''$

$\lambda = -7^\circ 51' 26.27365''$

$h = 932.563 \text{ m}$



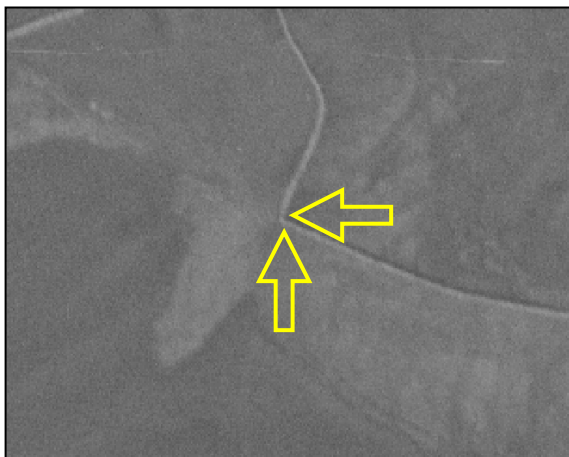
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF25**

Data de aquisição: 11/03/2012

Descrição:

A E de Lama da Missa, no cruzamento dos muros.

Coordenadas **ETRS89**:

$\varphi = 41^\circ 43' 32.16916''$

$\lambda = -7^\circ 51' 22.55043''$

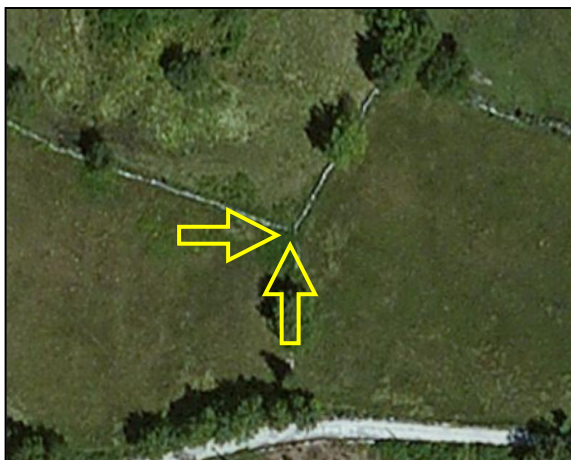
$h = 931.115 \text{ m}$



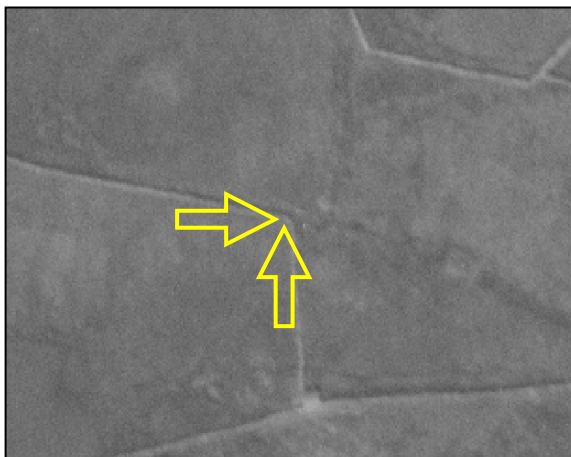
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF26**

Data de aquisição: 11/03/2012

Descrição:

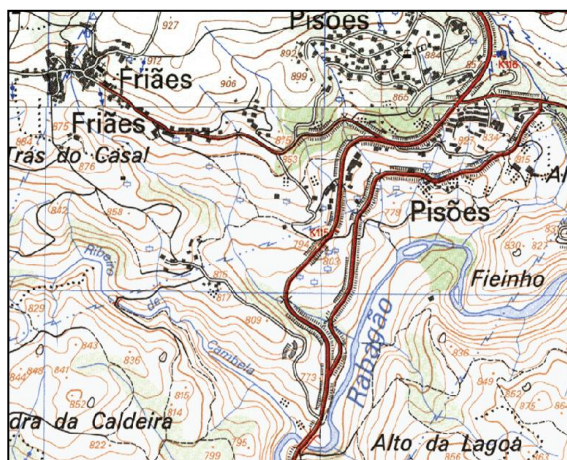
A SE de Friães, na esquina N da casa.

Coordenadas **ETRS89**:

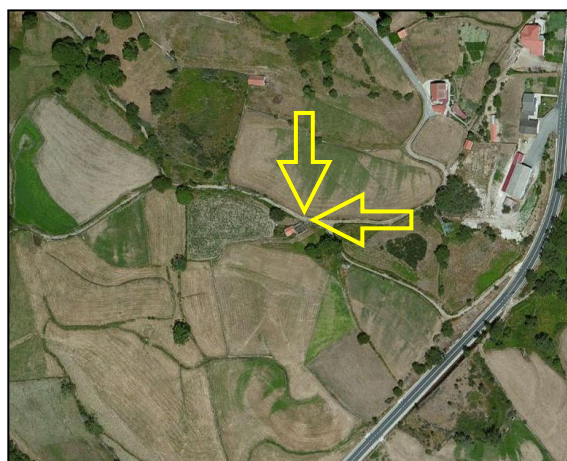
$\varphi = 41^\circ 44' 07.43736''$

$\lambda = -7^\circ 52' 22.04387''$

$h = 871.663 \text{ m}$



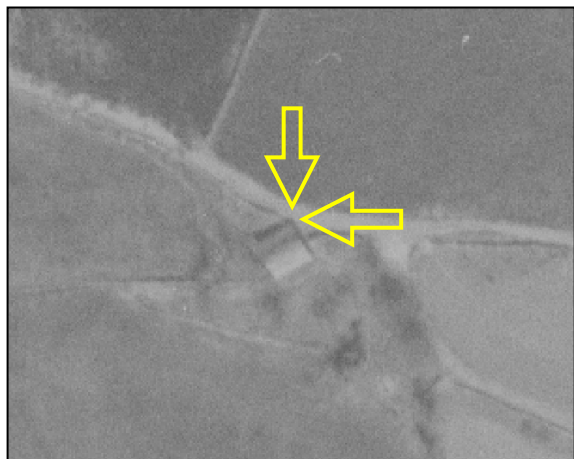
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF27**

Data de aquisição: 10/03/2012

Descrição:

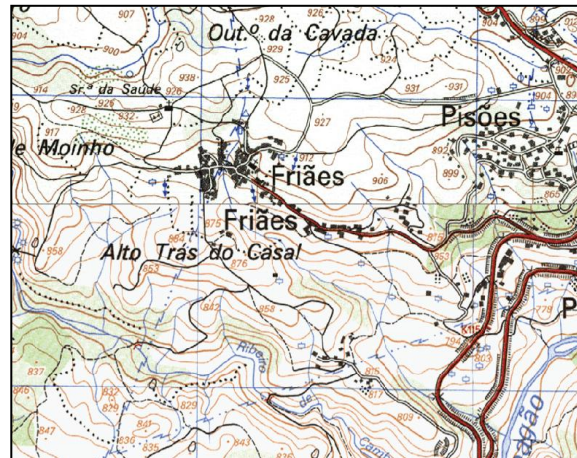
Em Friães, na esquina O do beiral da casa.

Coordenadas **ETRS89**:

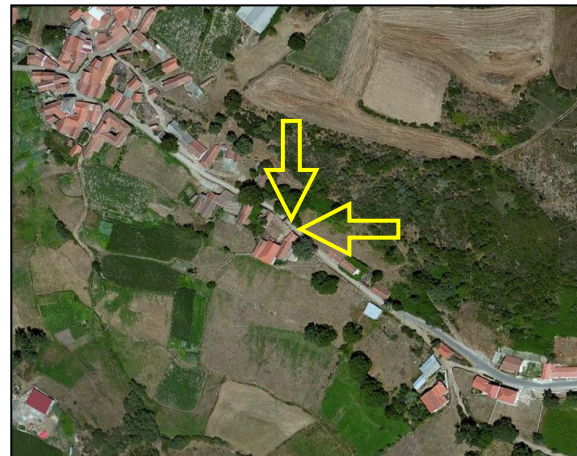
$\varphi = 41^\circ 44' 21.24619''$

$\lambda = -7^\circ 52' 46.80060''$

$h = 938.352 \text{ m}$



Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local



## FICHA DE PONTO FOTOGRAMÉTRICO

Nome do ponto: **PF28**

Data de aquisição: 09/03/2012

Descrição:

A SO de Viade de Baixo, na esquina do  
beiral N da Igreja.

Coordenadas **ETRS89**:

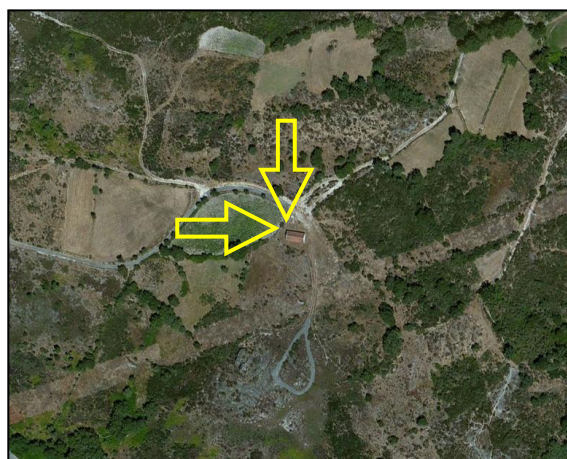
$\varphi = 41^\circ 45' 22.04611''$

$\lambda = -7^\circ 52' 12.01809''$

$h = 976.646 \text{ m}$



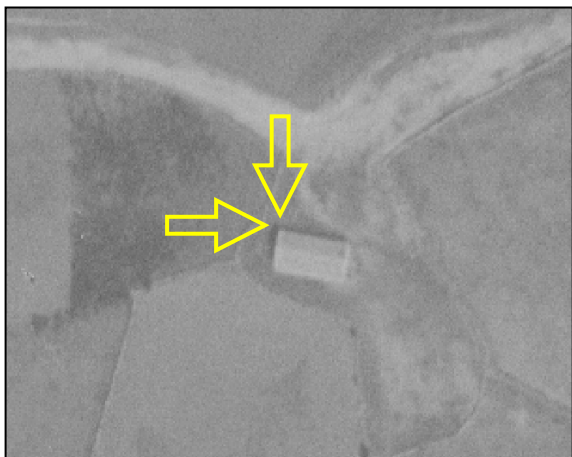
Localização na folha



Fotografia aérea atual



Fotografia aérea atual aproximada



Fotografia aérea antiga



Fotografia no local